

出國報告（出國類別：實習）

## PD 線上長期監測系統之技術研討

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：趙志強 十一等電機工程監

派赴國家：日本

出國期間：100.12.19~12.24

報告日期：101.2.9

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：PD 線上長期監測系統之技術研討

頁數 44 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

趙志強/台灣電力公司/輸工處北區施工處/十一等電機工程監/(02)23227179

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100.12.19~100.12.24

出國地區：日本

報告日期：101.2.9

分類號/目：

內容摘要：(二百至三百字)

## 壹、計畫緣由及目的

期藉由本次機會蒐集國外相關電纜 PD 試驗技術規範及其光纖運用於溫度、事故、損傷及通信等監測系統技術。同時，拜訪關西電力公司及日本 JPS 廠家設計人員，聽取相關意見，並作雙向交流，希冀對日後本公司地下電纜監測之規劃、設計，乃至施工規範之編訂有所助益。

## 貳、部分放電(Partial Discharge, 簡稱 PD)

1. 部份放電種類、檢測與分析
2. 一般超音波部份放電量測使用 Sensor 的種類
3. 部份放電監測系統應用於 GIS and Cable 之簡介
4. 部分放電檢測方法(GIS、終端匣及接續匣)及時機

## 參、關西電力及阿南~紀北 500KV 直流海纜簡介

關電簡介、海纜簡介、海纜斷面圖、路線、概要圖、監控系統、架空線路、陸纜及海底電纜規格等介紹

## 肆、JPS 製造台澎海纜簡介

製造及檢驗程序、海纜接續過程、海纜工程竣工試驗、海纜維修、台澎海纜監控功能等介紹。

## 目 錄

壹、研習過程 .....	5
貳、緣起及目的 .....	7
參、部分放電 .....	8
一、部分放電分類 .....	8
二、部分放電檢測法 .....	9
三、關西電力於線上監測所採用之超音波檢測法 .....	12
四、關西電力於電纜及接續匣之部分放電檢測法 .....	15
肆、關西電力及阿南~紀北 500KV 直流海纜簡介 .....	18
一、阿南~紀北 500KV 直流海纜概述 .....	18
二、阿南~紀北 500KV 直流海纜監控系統 .....	22
伍、台澎海底電纜規劃 .....	24
一、偵測系統必要性 .....	24
二、光纖系統 .....	25
三、電纜規格 .....	27
四、海纜製造及檢驗程序 .....	29
五、電纜事故預防及偵測系統 .....	31
陸、實習心得 .....	41
柒、建議事項 .....	43
捌、參考文獻 .....	44

## 附 圖

圖 1 VCV 垂直塔及遮蔽試驗室.....	6
圖 2 內部放電現象.....	8
圖 3 尖端放電現象.....	9
圖 4 表面放電現象.....	9
圖 5 電流脈衝檢測法.....	10
圖 6 交連 PE 電纜熱阻計算模組.....	11
圖 7 GIS 開關設備採用超音波及 UHF 量測技術.....	13
圖 8 GIS 型電纜終端匣的接地線量測技術 .....	13
圖 9 關西電力於變電所 GIS 型電纜終端匣的系統組合量測系統 .....	14
圖 10 本公司 GIS 型電纜終端匣的系統組合量測系統.....	15
圖 11 電纜接續匣 PD 測試之等效電路及分析原理 .....	16
圖 12 可攜帶型之部分放電檢測設備連接方式.....	17
圖 13 相位( $\Phi$ )—放電量( $q$ )—發生頻率次數( $n$ )之測試圖.....	17
圖 14 阿南濟北直流幹線地理位置及斷面圖.....	18
圖 15 阿南濟北海底電纜 1600mm <sup>2</sup> 充油電纜斷面結構圖.....	19
圖 16 上岸點陸纜接續段佈設圖 .....	20
圖 17 直流及交流鐵塔架構圖 .....	20
圖 18 阿南濟北海底電纜整體建置完成圖.....	21
圖 19 阿南紀北海底電纜監控系統.....	23
圖 20 瀨戶內海小豆島 AC66KV 海底電纜.....	25
圖 21 多模光纖和單模光纖色散方式.....	26
圖 22 光纖構造圖.....	27
圖 23 光纖折射原理 .....	27
圖 24 161kV 交連鎧裝海底電纜構造圖.....	28
圖 25 161kV 交連 PE 電纜構造圖 .....	28
圖 26 Type test 及 PQ test 循環老化加壓試驗線路.....	29

圖 27 海纜接續程序 .....	31
圖 28 支援系統裝置 .....	32
圖 29 維護支援系統示意圖 .....	33
圖 30 海底電纜溫度測定示意圖 .....	33
圖 31 定位損壞之海纜段及鋸斷 .....	34
圖 32 損壞海纜之接續維修 .....	35
圖 33 損壞海纜完成接續維修 .....	35
圖 34 溫度監視系統 .....	37
圖 35 外傷事故檢測裝置之構造及檢測原理 .....	38
圖 36 事故點評定裝置構成圖及標定原理 .....	39
圖 37 台澎海路纜整體監控系統 .....	40
圖 38 國際海底電纜輸電容量與線路長度關係圖 .....	42
表 1 海纜製造及測試過程 .....	30
表 2 預防維護支援系統概要 .....	32

## 壹、研習過程

一、出國期間：100 年 12 月 19 日~100 年 12 月 24 日（計 6 天）

### 二、研習行程：

(一)100.12.19：往程（台北至關西）

(二)100.12.20~94.12.23：

1. 日本關西電力公司及 J-Power Systems 公司：研習有關 PD 線上長期監測系統之技術
2. 參觀 J-Power Systems 公司位於大阪之海底電纜工廠。

(三)100.12.24：返程（關西至台北）

### 三、參觀活動：

研習期間訪問電力公司、機構及人員如下列：

(一)日本關西電力公司電力系統之地下及海纜輸電處副理谷川內實及城唯彥。

(二)日本 J-Power Systems 海外工程部電纜設計技術處經理倉田龍夫及資深工程師久万川錦也。

(三)日本 J-Power Systems 國際事業部營業處課長星川鄉太。

(四)日本 J-Power Systems 電力系統部光纖偵測系統處經理米田英彥。

(五)日本 J-Power Systems 大阪海纜廠參觀。。

### 四、研習公司簡介：

(一) J-Power Systems 簡介（僅供參考，實際資料以 JPS 公布為準）

日本 JPS 公司是由住友電氣工業株式會社(1908)與日立電線株式會社(1918)兩家高壓電力電纜公司，在 2001 年整合成立的公司。該業務的整合結構，以保存和發展優秀的技術開發能力，並提高成本競爭力促進穩定供應，提供更優質用戶服務。資本額 80 億日元，年收入 800 億日元，營業範圍包含電力電纜、海底電纜、架空導地線、電纜監控系統、超導體研發及電纜工程設計及施工等業務，公司員工計有 1,100 人。JPS 於 1995 年於大阪廠開發了世界第一個 500KV 超高壓長距離電纜生產線，其 XLPE 電纜是採用 VCV（垂直立式連續硫化）生產線，垂直高度 180m(含地下)。並建立最大之海陸纜遮蔽試驗室(長 48m×寬 44m×高 44m)，可防電磁干擾及衰減 77dB 外界雜訊。

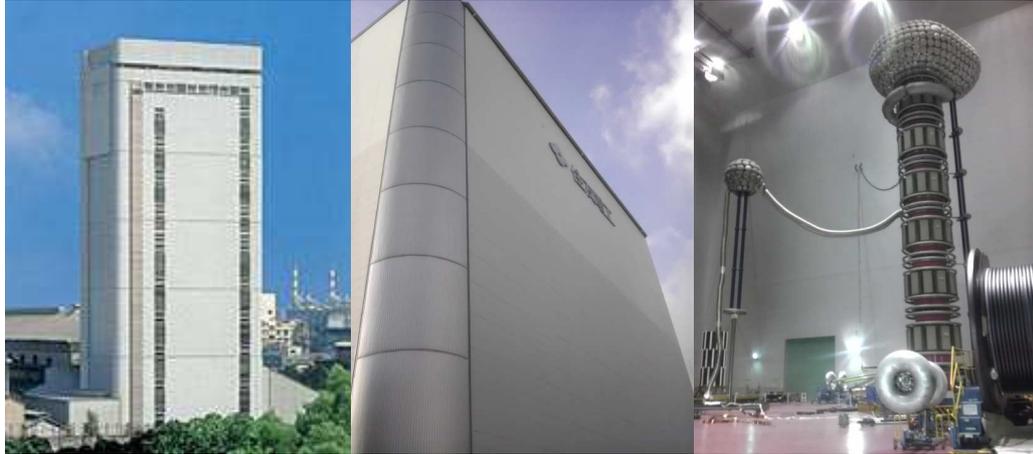


圖 1 VCV 垂直塔及遮蔽試驗室

(二) 關西電力簡介 (僅供參考，實際資料以關西電力公布為準)

關西電力公司設立於 1951 年 5 月 1 日，資金 4893 億日元，計有 148 所水力發電廠，12 所火力發電廠，3 所核能發電廠，合計 163 所發電廠。送電線部份總長計有架空線路 14,096 公里、地下電纜 4,300 公里，配電線部份總長計有架空線路 122,718 公里、地下電纜 6,024 里，變電所部份計有 1,569 所。總發電力量計有 1,591 億 kWh，而總販售電力量計有 1,458 億 kWh，單日最大發電量為 3,306 萬 kW(2001 年 8 月 2 日)，電力供給地域計有大阪府、京都府、兵庫縣、奈良縣、滋賀縣、和歌山縣、三重縣、岐阜縣及福井縣等，公司員工計有 2 萬 2,106 人。

日本國內最長的送電纜為關西電力之 275kV 新北陸幹線，總長 351 公里屬關西電力公司轄管線路。線路延伸由富山縣新愛本變電所至大阪府枚方變電所間，自 1953 年開始運轉，其間連接線路長度原為 321 公里，於 1961 年因黑部川第 4 發電所完成，使線路再延伸 30 公里達總長度為 351 公里，為日本國內最長的送電線路。

## 貳、緣起及目的

澎湖群島因具有豐富之天然資源，觀光發展極具潛勢，尤以每年 4~9 月為其觀光旺季；但因屬小型海島地形，長年雨量不多，缺乏發展觀光所需之電力及水資源。台電公司為因應澎湖地區未來發展建設規劃及夏天觀光熱潮用電需求，計畫於雲林縣境內之口湖 (D/S) 變電所與澎湖縣境內之尖山電廠澎湖 (P/S) 變電所間，鋪設一條 161kV 200 MW 二回線（6 條單芯 XLPE）海底纜線與陸地纜線銜接兩變電所，以連接台灣、澎湖間之電力網，除滿足澎湖用電需求，協助進行海水淡化解決水資源問題外，同時可配合政府「再生能源發展條例」之推廣，利用澎湖地區之風力、太陽能等再生能源，透過海底電纜之電源傳輸平台，平衡台灣、澎湖兩地間之供電調配。

台澎海纜長度達 58.8 公里，橫越台灣海峽連續台灣與澎湖島間之重要線路，因此須針對海底段及陸上段電纜之運轉狀態及造成運轉故障之故障資訊應隨時加以正確掌握，方能降低運轉風險。

期藉由本次機會蒐集國外相關電纜 PD 試驗技術規範及其光纖運用於溫度、事故、損傷及通信等監測系統技術。同時，拜訪關西電力公司及日本 JPS 廠家設計人員，聽取相關意見，並作雙向交流，希冀對日後本公司地下電纜監測之規劃、設計，乃至施工規範之編訂有所助益。

## 參、部分放電

### 一、部分放電分類

部分放電主要發生在絕緣體中之空隙、空洞、雜質、電介質裡及電極尖端邊緣。部分放電是指在絕緣的局部位置放電，初期並不會造成整個絕緣的貫通性擊穿。部分放電的類型，分為內部放電、尖端放電、表面放電、浮動放電及接地不良所引起的放電。經與 JPS 及關西電力研討各種部分放電種類，該公司仍以內部放電測量為主要工作，大致分類如下：

#### (一)內部放電(Inner Discharge)：

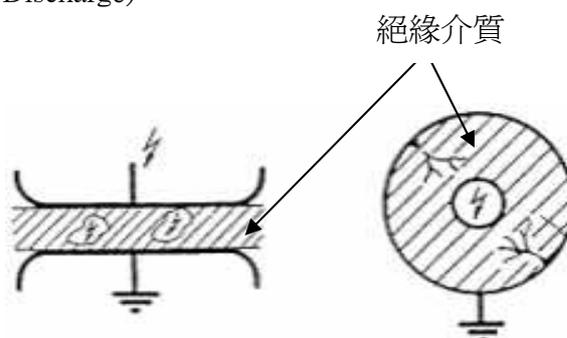


圖 2 內部放電現象

內部放電是指絕緣介質內產生空隙或空洞(Void)過大或產製時所存在的異物或雜質 (Impurity or Contaminant) 與半導體層突起或尖突 (Protrusion)，所導致絕緣介質中部份區域發生放電現象，如圖 2 所示。常見於交連 PE 電纜之絕緣層(Insulation layer) 及半導體層(Semiconducting layer)所產生的雜質或尖突現象。

#### (二)尖端放電(Point Discharge)：

尖端放電是指在物體尖端部份，因電極間週遭有不均勻電場產生所導致的放電現象，就是當某一物體表面的曲率大，導體在曲率較大處會累積較多的電荷，會造成尖端電荷比一般表面更集中，在強電場的作用下，物體尖銳部分發生放電現象，如圖 3 所示。例如避雷器(Arrester)即利用尖端放電原理，將地球大氣層雲層中感應出的電荷及時釋放於大地表面，將電荷減少及中和，避免因其過分的積累而引發巨大的雷電擊中事故，並保護被雷電擊中的建築物或設備。另一種例子為在空氣中的尖端放電現象，亦稱為電暈放電(Corona Discharge)，例如高壓鐵塔其帶電體表面電位梯度超過空氣的絕緣強度(約 30KV/cm)時，會使空氣游離而產生電暈放電現象。



圖 3 尖端放電現象

(三)表面放電(Surface Discharge)：

電場中固體、氣體或液體間不同介質的界面上所出現的放電現象，如介質表面受潮、介質間密合性問題、介質表面電阻影響、介質破損及表面髒污等現象都會產生沿面放電，如發展成電極間貫穿性的擊穿則稱為閃絡。絕緣礙子的放電是最常見的一種氣體中的表面放電現象，因絕緣礙子之介電系數  $\epsilon$  大於空氣介電系數  $\epsilon_0$ ，於絕緣礙子之電場強度為  $E_{in}=E_0(\epsilon_0/\epsilon)$ ， $\epsilon_0/\epsilon < 1$ ，故於絕緣礙子之電場強度小於空氣中的電場強度，使得礙子與空氣間的電場梯度相形較高，當礙子表面因雨露、灰塵、髒污、鹽害等影響時，表面放電將更易形成，如圖 4 所示。其它案例可能出現在屋外型電纜終端用礙管及避雷器處，也可能出現在電纜接續處因施工不良而造成電纜與接續間表面磨損或是電纜轉彎時彎曲半徑不足使得絕緣層和電纜被覆受傷等而產生表面放電。

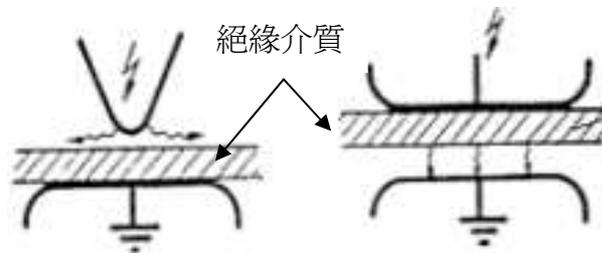


圖 4 表面放電現象

(四) 浮動部分放電 (Floating Partial Discharge)：

通常發生在電力系統設施接地不良或 GIS 內部導體螺絲未鎖緊造成電位浮動放電時所產生，因而產生洩漏或浮動電流，其放電現象趨向於反復變動，要多次檢測方能發現問題所在。

## 二、部分放電檢測法

(一) 部分放電檢測方式

電氣設備絕緣體若發生部分放電時，可能會產生脈衝訊號、電磁場、音波、氣體衍生物、弧

光與發熱等現象。為進一步量測其部分放電情形，可採用電流脈衝檢測法、超音波檢測法、紅外線熱影像檢測法、光纖偵溫檢測法、超音波檢測法等方能明確判斷出該電氣設備絕緣良莠狀況。其中超音波檢測法與電磁波檢測法因無法校正量值，只能採取判斷是否故障型態的定性量測。電流脈衝檢測法係使用標準校正器所產生的校正波而達到定量效果。採用此方式進而有效追蹤量值變化，達到定量定性分析。要獲取準確的局部放電訊號來進行電力設備的預預防診斷分析，其檢測方法的適用性與精確度是相當重要的關鍵。對於線上長期監測系統而言，關西電力在 GIS 氣封型開關及電纜終端匣量測部分放電採用超音波檢測法，將於下一節作相關介紹。目前部分放電的檢測方法大致上分為下列幾種方法：

### 1. 電流脈衝檢測法

屬於 IEC60270 「局部放電量測標準」中所推薦的電氣檢測法，檢測部分放電所產生之脈波電流的放電電荷量並以(Pico Coulomb : PC)為單位，目前國內交連 PE 電纜出廠試驗大多採用此法於加 AC 耐壓時配合實施，其出廠標準部份放電值必須低於 5pc。脈衝信號於電纜內部的傳播速度為  $v=300/\sqrt{\epsilon_r}(m/\mu s)$ ，於末端產生反射，利用量測脈衝之時間之間隔，求出放電點之位置，但此試驗法須有特殊的場所及設備，在線上檢測上有其困難性。

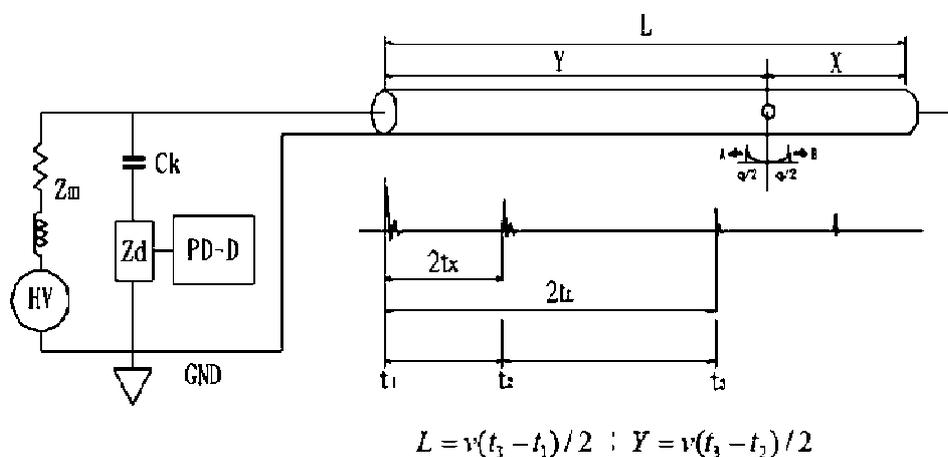


圖 5 電流脈衝檢測法

### 2. 紅外線熱影像法

紅外線是一種波長介於  $0.75 \mu m \sim 1000 \mu m$  的熱輻射，是電磁輻射的一種，傳播速度為光速。本法為目前檢測電氣異常現象最方便及最常用的方法，其原理是利用當設備產生缺陷與故障時，缺陷部位的溫升將發生明顯的變化，造成異常熱分佈現象。但由於紅外線的穿透能力較弱，無法完全穿透絕緣材料和設備外殼，所以無法直接檢測內部缺陷，故此

法一般使用於電力設備外部接點及設備表面熱缺陷檢測，例如電纜終端匣及接續匣運轉時得溫升狀況，但對於部份放電的檢測效果並不理想，但無法使用於線上長期偵測。

### 3. 光纖偵溫檢測法

由於輸電線於送電運轉時於每一層構造將產生熱阻，故較新之 DTS 系統將輸電線運轉時所產生之熱阻計算建立模組化，以換算電纜導體運轉溫度，如圖 6 所示，再推估導體送電容量，藉由此 DTS 顯示畫面可以單線圖方式清楚呈現目前電纜溫度及送電容量變化，並可累計資訊建立資料庫以利比對。當溫度或送電容量過高時則發出警告訊號至監控系統以利電力調度，此智慧型功能未來將可提高電力輸送可靠度，目前本公司於 345kV 交連 PE 電纜輸電線路及台澎海纜線路均已規劃採用。

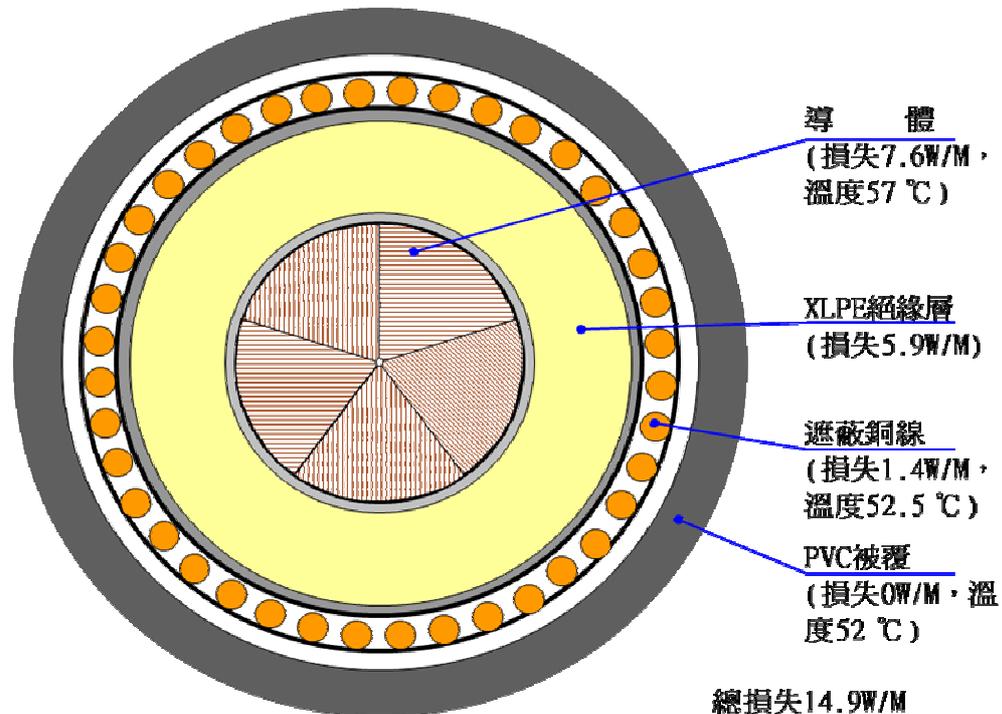


圖 6 交連 PE 電纜熱阻計算模組

### 3. 紫外線放電影像檢測法

檢測放電現象所產生的深紫外光。當帶電體因電場變化而產生些微放電現象時，會產生肉眼無法辨識的深紫外光。當放電能量加劇時，才會逐漸產生可見光，也就是一般所說的弧光或電暈，當帶電體表面電位梯度超過空氣的絕緣強度(約 30KV/cm)時，會使空氣游離產生放電現象，此檢測法可偵測些微放電時的深紫外光，對於表面放電、電暈放電、接點

雜訊等外部放電現象具有良好的辨析能力。可運用於評估電場應力或電暈環之設備效果、量測閃絡放電情形及評估礙子清洗之時機，但是對於電纜內部放電或電樹等發生於外被覆層內部的放電現象，因為光線不易透出而難以檢測。

#### 4. 超音波檢測法

超音波檢測是指以高頻率的超音波，對物件內部缺陷加以檢測。利用壓電材質所製成之超音波麥克風，配合頻帶放大器，檢測其當部份放電現象產生時，所伴隨之音波大小，可感測出運轉設備故障、洩漏及電氣放電所產生的高頻聲音。一般超音波檢測所使用頻率範圍為數十 MHz，其設備包含訊號產生器，藉著換能器探頭 (Transducer) 發射出超波，再經由接觸媒質傳入試件中，在試件中超音波會有或多或少的衰減，當傳至介面時，超音波可能反射或透射，藉由偵檢、分析反射或透射訊號，則可檢測出瑕疵，並可定出檢測位置。

由於超音波進入空氣中衰減非常快，故超音波在接收上需利用集音器收集超音波，而檢測距離為最大之影響因素。因此，對於絕緣材料深層局放現象之檢測其靈敏度很低，且此法所量測之信號因經過降頻之動作，故已非音射原始信號，所以失去了頻譜分析之意義，僅可運用氣封開關設備 (Gas Insulated Switchgear)，但運用於電纜及接續匣的量測效果有限。

### 三、關西電力於線上監測所採用之超音波檢測法

GIS 開關設備裝設超高頻 (Ultra-High Frequency, UHF) 感測器，採用超音波及 UHF 技術，在線檢測 GIS 內部及 GIS 電纜終端匣內部的初期部分放電現象，如圖 7 所示，同時量測資料由專家系統自動進行研判分析設備狀況，並可配合專家人員再進行研判設備狀況，及輔以其他 PD 量測設備綜合分析及進行定位，以避免誤判及方便儘速找出異常點，例如超音波 (Acoustic Emission, AE)、高頻 CT (High Frequency CT, HFCT)、暫態對地電壓 (Transient Earth Voltage, TEV)。當 GIS 在運作時，若發生局部放電將產生聲音，可經由音射感測器快速接收到信號，再把信號傳送到前置放大器做放大動作，再經過資料擷取卡做類比對數位的轉換，最後在將數位資料儲存在電腦資料庫中方便分析。

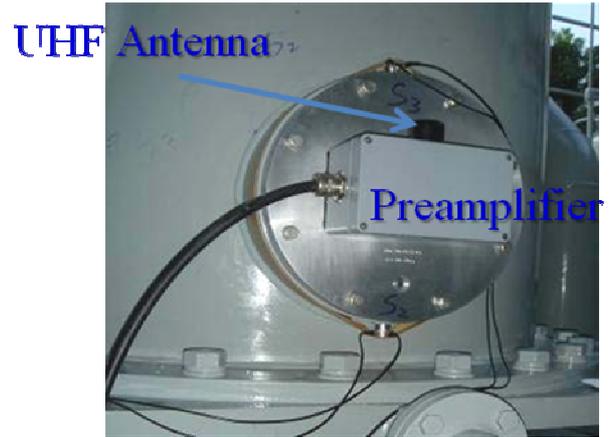
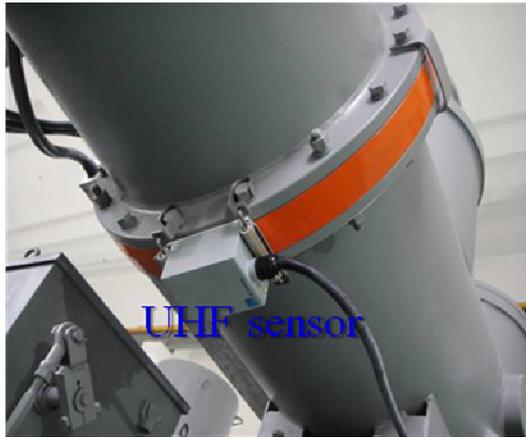


圖7 GIS 開關設備採用超音波及 UHF 量測技術

上述量測是利用了高頻 CT 來量測電氣訊號和接觸式音頻信號來作為主要的測量法，可同時配合 GIS 型驗纜終端匣作部分放電量測，即利用高頻 CT 鉤在 GIS 型電纜終端匣的接地線，電纜終端匣內部發生局部放電時在接地線上會有電流脈衝通過，此時勾在接地線上的高頻 CT 就會感應出微小的電壓，經過一個前置放大器將電壓信號接進示波器作觀察，再將觀察到的信號傳回電腦做為資料庫，如圖 8 所示。



圖8 GIS 型電纜終端匣的接地線量測技術

一般於氣封型開關設備及 GIS 電纜終端匣的運用如圖 8 所示，在活線或線上長期監視時，如有異常放電發生時，可透過電話網路或相關媒介，將資料傳回監控識，供專業人員解讀。關西電力於變電所量測之組合系統詳圖 9 所示。



圖9 關西電力於變電所 GIS 型電纜終端匣的系統組合量測系統

本公司綜研所於量測氣封型開關設備及 GIS 電纜終端匣之部分放電已採用上述超音波檢測法，利用 H F C T(高頻 CT)、耦合電容(C- Sensor)及 U H F 等量測設施，可在運轉中(on-line)或離線(off-line)時量測電纜及裝甲開關等部份放電現象，透過軟體視窗可呈現其部份放電的各項數字數據，並且能精確的做放電位置的定位，組合測試系統詳圖 10 所示。

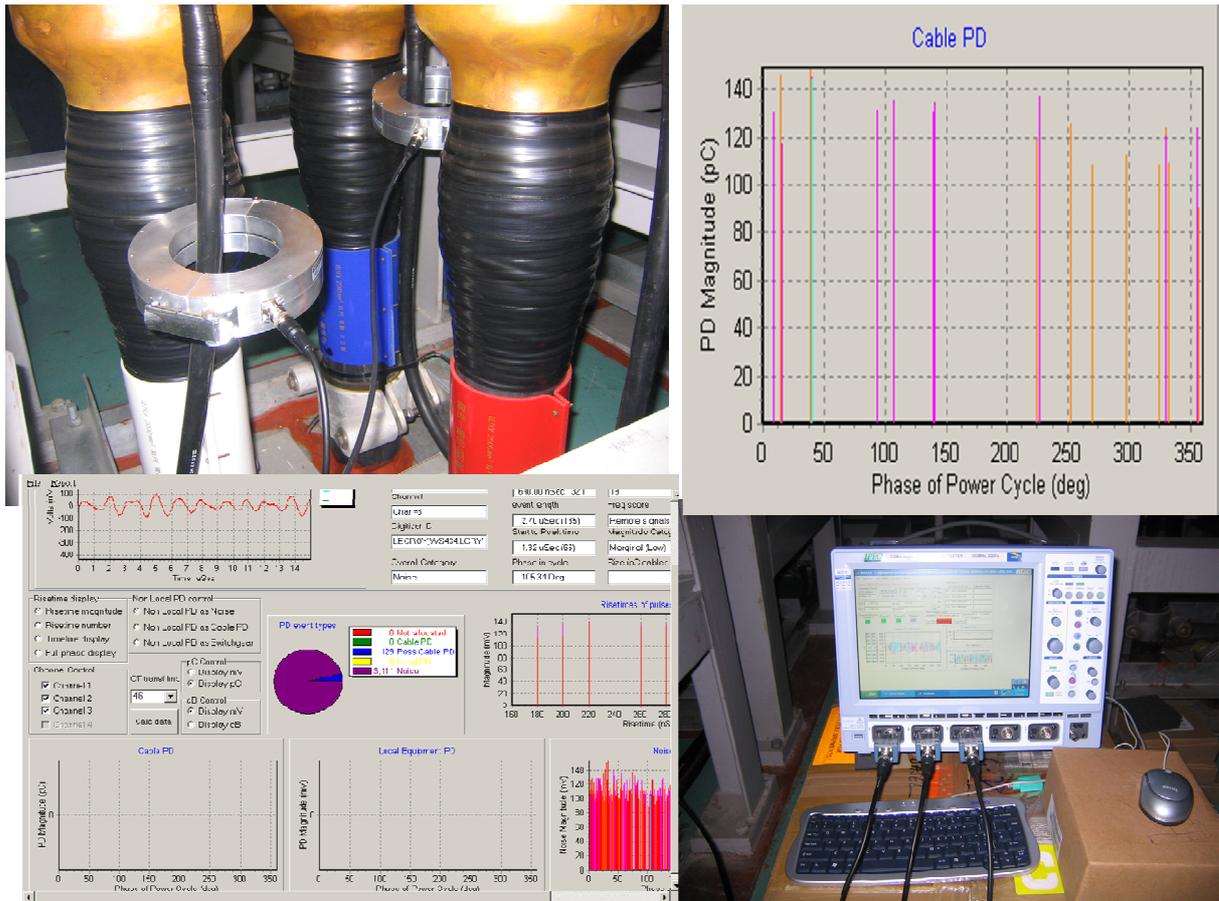


圖 10 本公司 GIS 型電纜終端匣的系統組合量測系統

#### 四、關西電力於電纜及接續匣之部分放電檢測法

電纜、接續匣及終端匣運至工地安裝後，為確保其絕緣特性，目前關西電力僅於 275kV 交連 PE 輸電線路施作 PD 測試，因現場干擾訊號較多，容許之測試靈敏度較低，利用裝於電纜之金屬薄板(Metallic sheets)或金屬箔片(Metallic foil)均引接至 PD 檢測器(detector)。金屬薄板、金屬箔片及電纜導體對接續匣之箱匣(Enclosure)與金屬遮蔽層(Metal sheath)間形成等效電容，若絕緣層有任何空洞裂化，其產生之放電電流於等效電容與 PD 檢測器間形成一環流，放電電流流經 PD 檢測器時，所擷取之放電訊號將傳送至 PD 測試儀器，PD 測試之等效電路及分析原理如圖 11 所示。

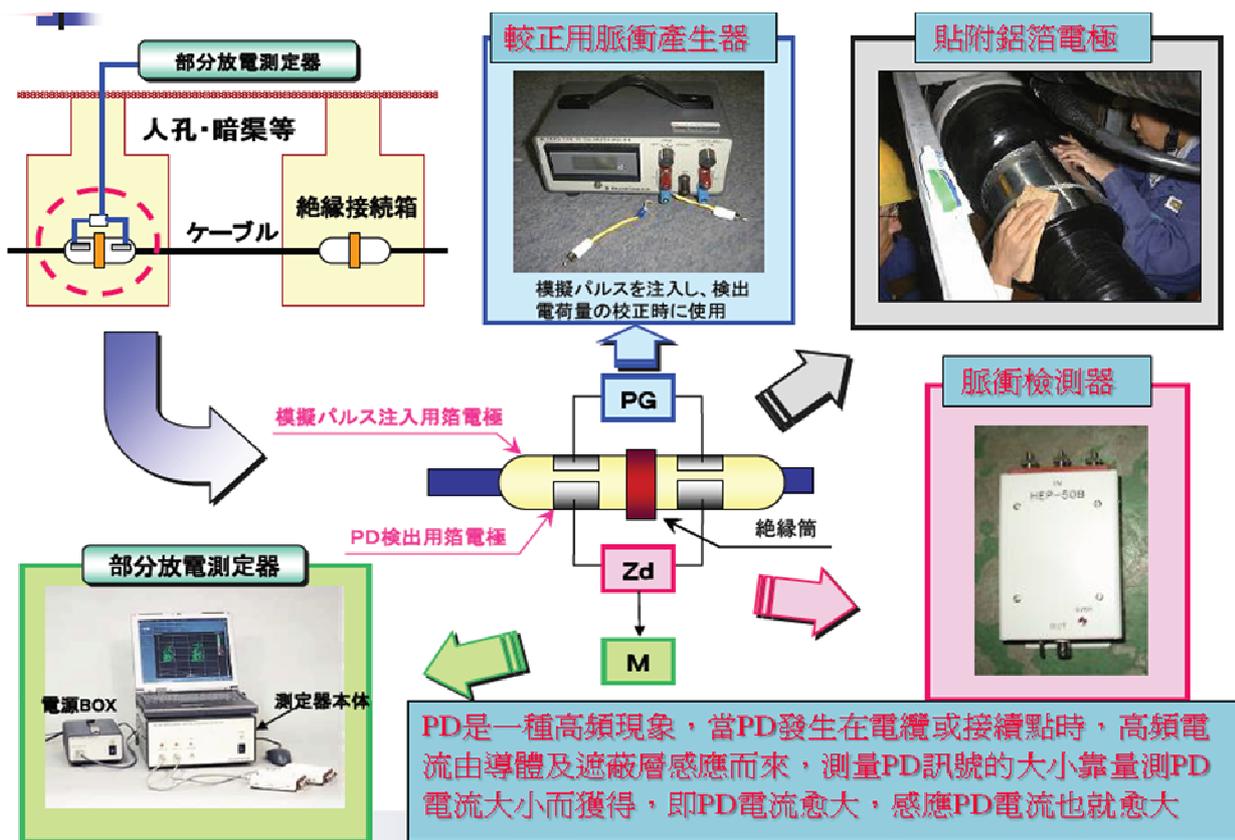


圖 11 電纜接續匣 PD 測試之等效電路及分析原理

佈設於涵洞或管路之電纜絕緣接續匣，其 PD 測試所需之放電訊號感測元件 (Sensor) 裝設方式有兩種，第一種為直接將金屬薄板 (metallic sheets) 嵌置於絕緣接續匣 (insulated joint) 內，第二種如圖 9 所示，將金屬箔片 (metallic foil) 纏繞於絕緣接續匣外。目前以圖 9 方式為最常見，目前關西電力採用攜帶式 PD 測試儀器至現場量測。可攜帶型之部分放電檢測設備，因可容易且緊密地設置於接續匣旁或其附近，無須將訊號傳輸至遠端集中監視器，故費用較低，更因可直接將訊號檢測出，故檢測出之訊號具高感度且無衰減現象，測試連接方式如圖 12 所示。

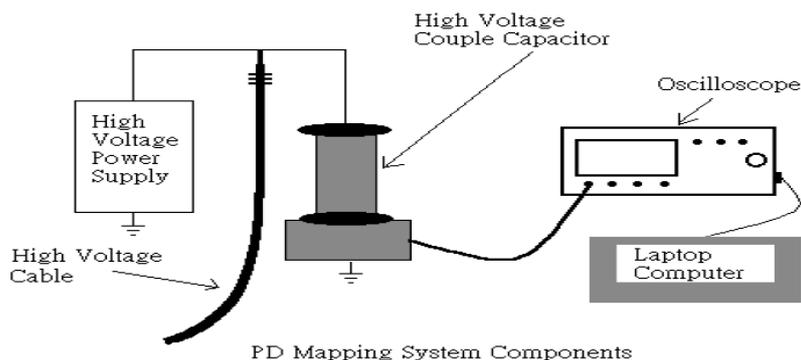
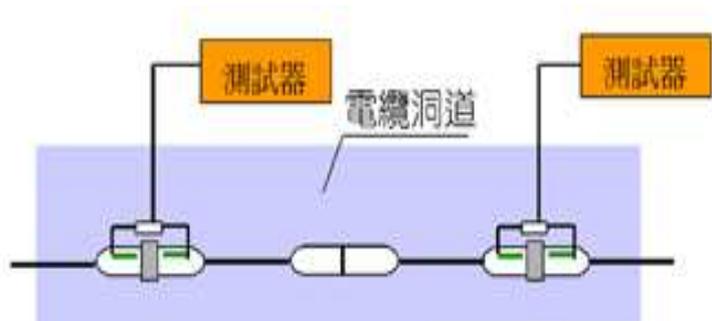


圖 12 可攜帶型之部分放電檢測設備連接方式

可攜帶型 PD 測試除可適時除去隨時變化之週邊雜訊外，亦可因應現場環境作適切之調整，故可謂最佳之檢測方法，其相位( $\Phi$ )—放電量( $q$ )—發生頻率次數( $n$ )之測試圖如圖 13 所示。

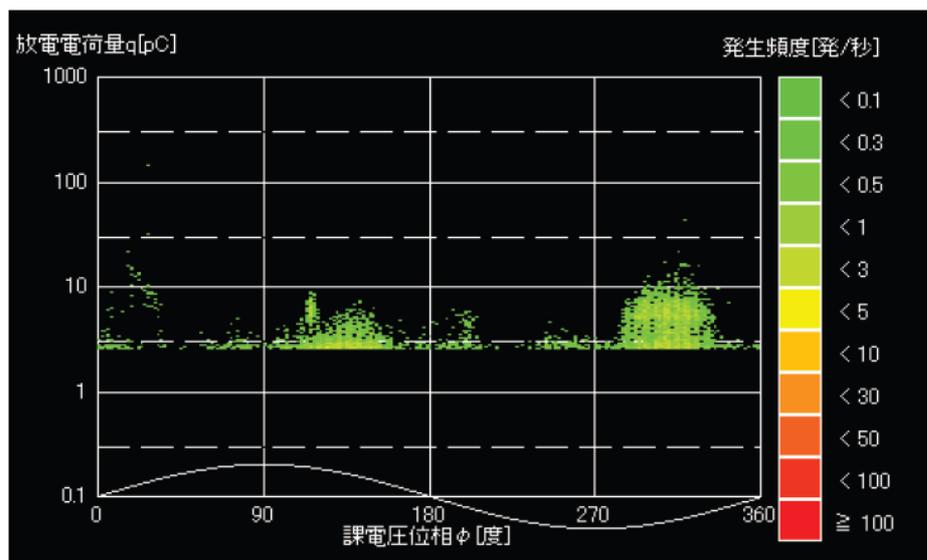


圖 13 相位( $\Phi$ )—放電量( $q$ )—發生頻率次數( $n$ )之測試圖

## 肆、關西電力及阿南~紀北 500KV 直流海纜簡介

### 一、阿南~紀北 500KV 直流海纜概述

目前日本國內送電系統概分為交流送電線及直流送電線兩種。其中交流送電線部份之最高送電電壓為 1000kV 之西群馬幹線，屬於東京電力公司所有。而直流送電線部份之最高送電電壓為±500kV(2000 年運轉，初期為± 250kV、終期為± 500kV)之阿南紀北直流幹線，屬於關西電力公司所有。

阿南濟北直流幹線為日本關西電力及電力發展公司合作興建之海底電纜線路，由本州之 Yura 連接至四國之 Anan。其地理位置及相關斷面圖詳如圖 13 所示。電壓為 500kV，輸電容量 2800MW，纜線長度 48.9km 最大水深 75 公尺。為單芯四條油充式電纜，由於每條纜線長度高達 50 公里電纜製造歷時約 2 年才完成。為電力保安及通訊之用，每條海纜設置 12 芯光纖以執行溫度監測、機協故障監視、維修通訊及資訊傳遞等功能，其幹線地理位置及斷面詳如圖 14 所示。

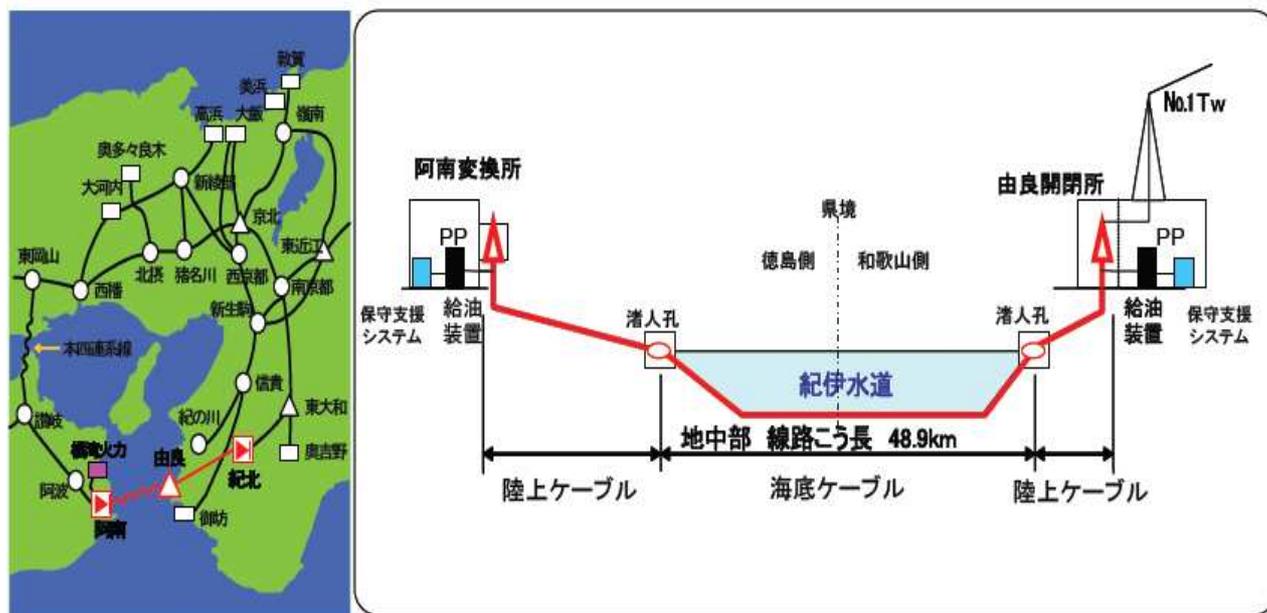


圖 14 阿南濟北直流幹線地理位置及斷面圖

連接關西和四國的阿南~紀北線路，於四國和本州之間採用直流海底電纜互聯，為解決東、西部電力系統分別以 60HZ 和 50HZ 交流供電的技術問題而採用了雙極±250kV 直流

供電。與交流供電相比，直流供電不受供電端與受電端必須保持相同頻率的限制，可以自由調整供電量，因此可操控性也比較高。

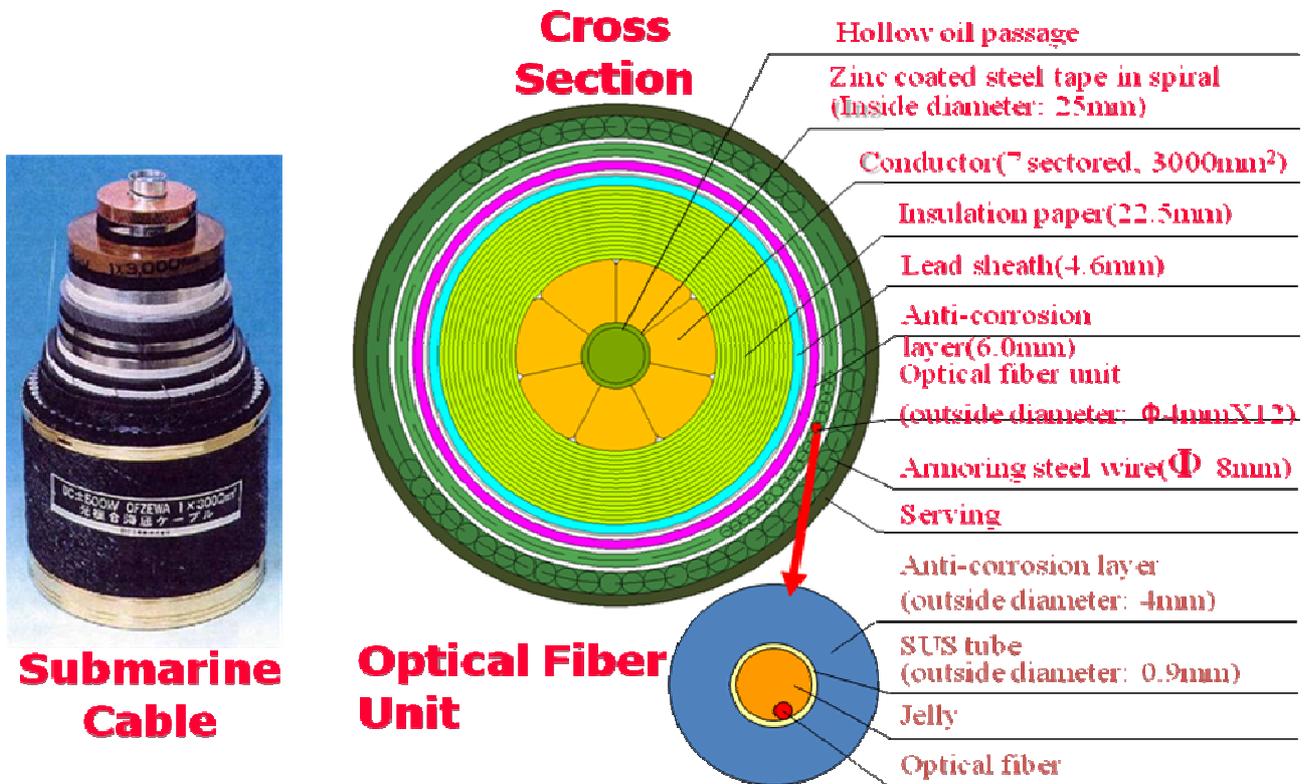


圖 15 阿南濟北海底電纜 1600mm<sup>2</sup> 充油電纜斷面結構圖

阿南與紀北 AC/DC 變換所為雙極直流 250kV，阿南變換所面積 72,800m<sup>2</sup> 及紀北變換所面積 121,600m<sup>2</sup>，送電容量滿載為 2800A (2,800MW)。架空線路 50.9km (紀北 AC/DC 變換所至由良開閉所間)、海底電纜長 48.9km 及陸纜 2.4km (由良開閉所至阿南 DC/AC 變換所間)，其海纜規格為 250kV 1600mm<sup>2</sup> 充油電纜 (詳圖 15)，陸纜於上岸點採直徑 3.3 公尺潛盾河道鋪設，詳圖 16 所示。架空規格為 250kV TACSR 810mm<sup>2</sup> 耐熱導線設計，其鐵塔分為直流及交流兩種架構，詳圖 17 所示。阿南濟北海底電纜整體建置完成如圖 18 所示。

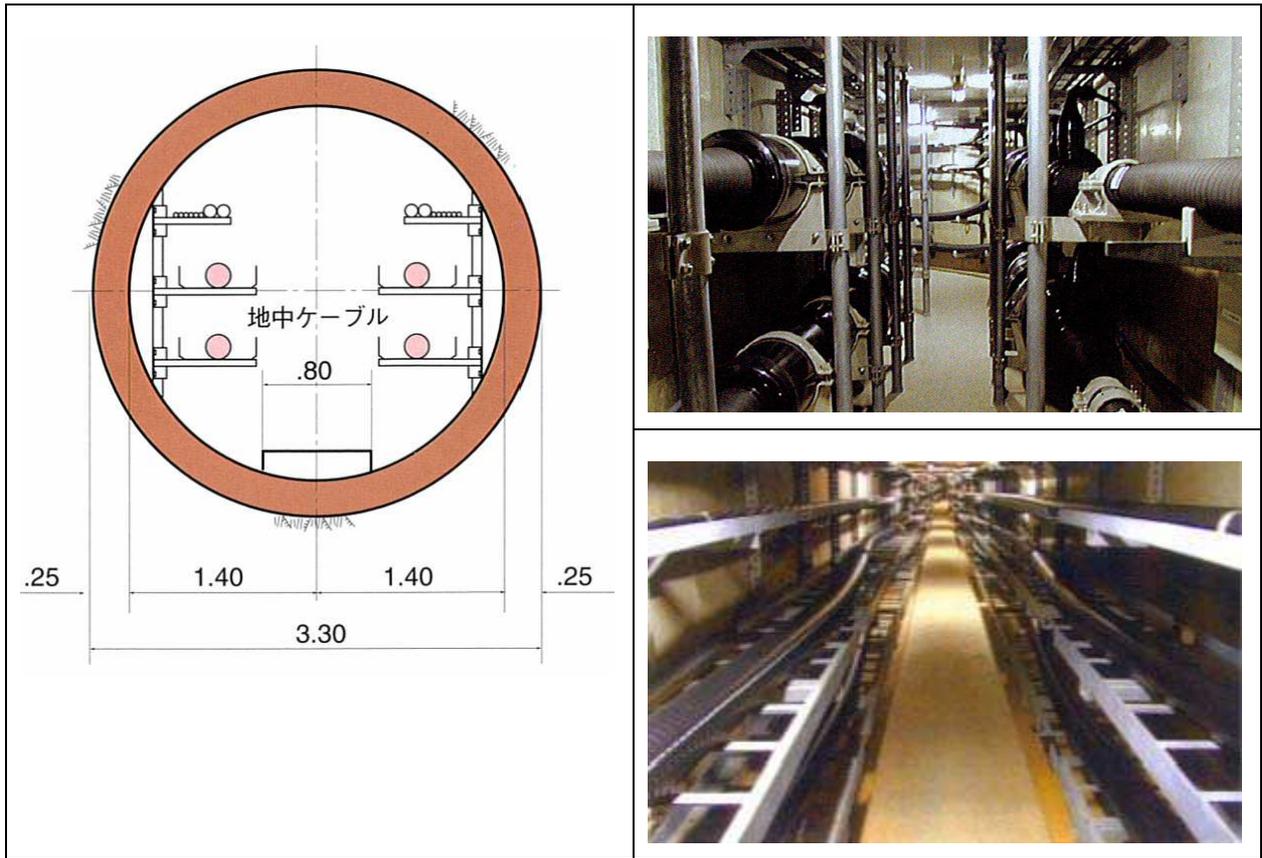


圖 16 上岸點陸纜接續段佈設圖

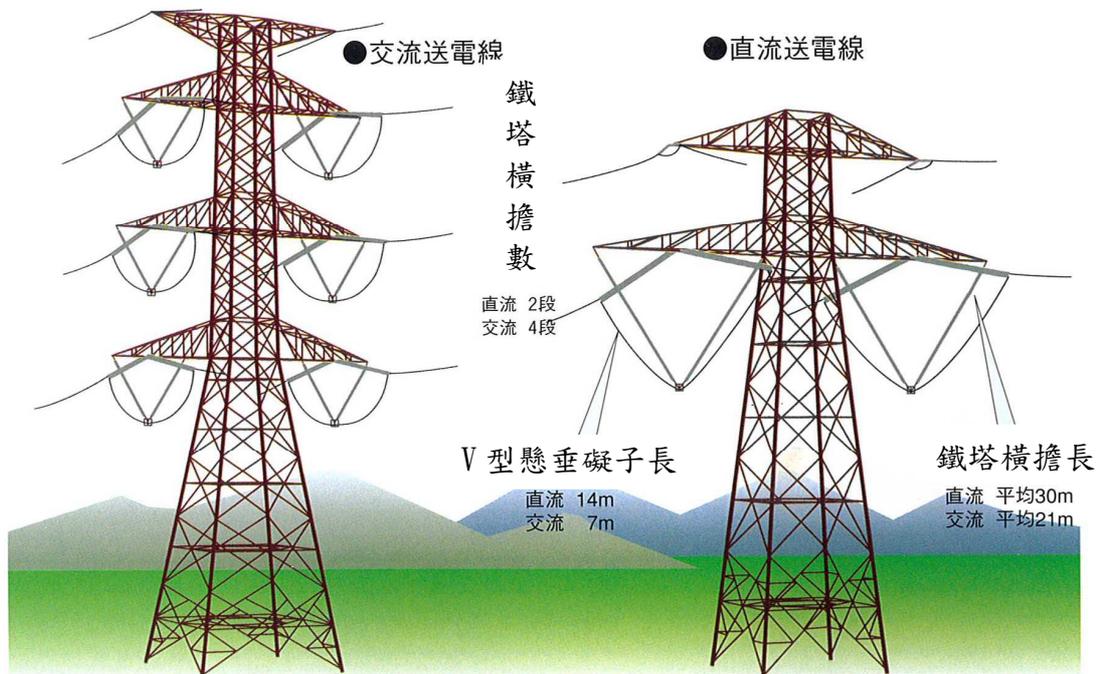
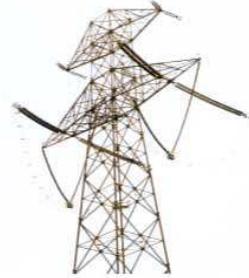


圖 17 直流及交流鐵塔架構圖



電源開発株式会社および四国電力株式会社  
【橘湾石炭火力発電所】【阿南変換所】

【阿南紀北直流幹線】

【紀北変換所】

【由良開閉所】

【直流架空線】

【直流海底ケーブル】



交流フィルタACF



SIJ (陸上と海底ケーブルの接続箱)



帰線強制消弧装置MRTB



交流フィルタACF



交流500KV送電線



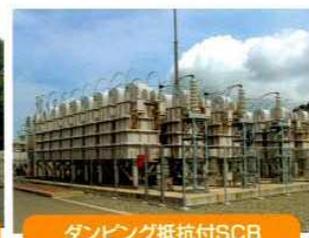
調相設備



直流ガス絶縁開閉装置



帰線分離スイッチNCB



ダンピング抵抗付SCB

圖 18 阿南紀北海底電纜整體建置完成圖

## 二、阿南~紀北 500KV 直流海纜監控系統

阿南~紀北海纜線路為確保電力保安及通訊之功能，每條海纜設置 12 芯光纖以執行溫度監測、故障監視、維修通訊及資訊傳遞等功能，其預防維護支援系統之各個裝置及配置整體系統構成如圖 19 所示。各變換站及開閉所間藉由 LAN (Local Area Network) 連結，所有情報將相互傳輸，分為下列監控模組：

- (一)阿南交換站監控室、紀北交換站監控室及由良開閉所監控室，各設置攝影電視系統，以掌握火災、事故、第三者入侵時之情報，俾採取初期緊急應變對策。
- (二)溫度監視裝置：本裝置係利用複合光纖電纜溫度偵測器測定海底電纜全長度之溫度分佈情形，其測定精度為 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，5m 範圍內局部之溫度上昇可檢測得知。
- (三)油量監視裝置：阿南~紀北海纜為充油電纜，因海纜長達 48.9 公里，其補油所需之壓力油槽數量多及體形龐大，如海纜漏油達到安全警界下限時可發出警報提醒值班人員做必要之處置。
- (四)中央處理系統：為海纜線路之管控及調度中心，所有情報資訊皆由本系統分析及採取必要的作業。將各裝置送回之維護資料予以蒐集與儲存，包括故障資訊、運轉情報等。
- (五) 光多重傳送裝置：使用海底複合光纖電纜，將阿南~紀北連接成一工作網路，進行資訊之相互傳送。
- (六)顯示裝置：將中央處理器蒐集之維修資料以畫面表示或列印輸出。

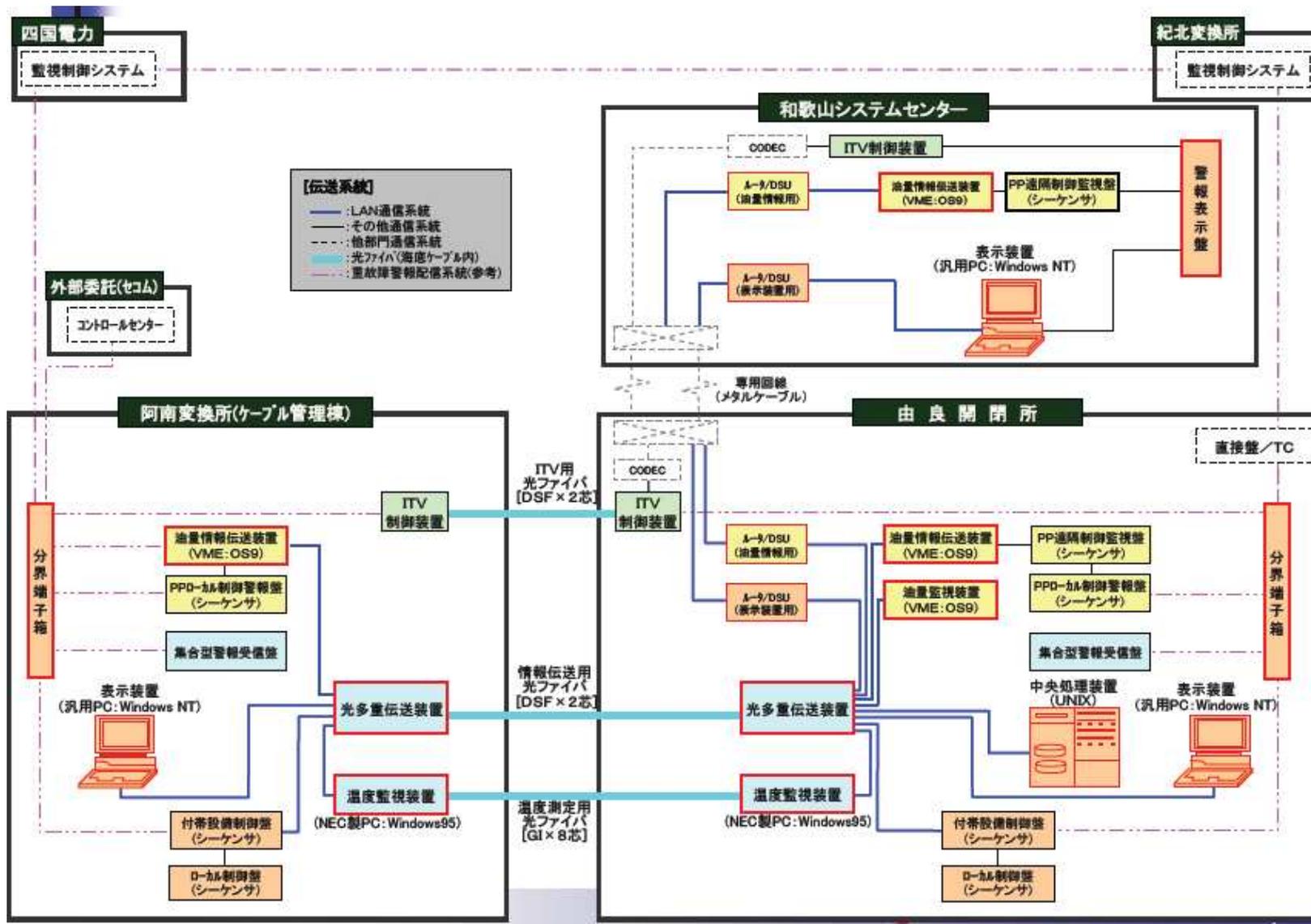


圖 19 阿南紀北海底電纜監控系統

## 伍、台澎海底電纜規劃

經拜會關西電力及 JPS 相關工程技術人員後，就關西電力阿南~紀北 250kV 直流海纜設計規劃經驗及 JPS 得標後對台澎 161kV 海纜初步規劃作相關研討及意見交換，由於本公司台澎 161kV 海纜規劃係由世曦顧問及關西電力共同承攬，故針對 JPS 及關西電力研討結果及所提供之參考資料說明台澎海纜工程可能之規劃方向，實際仍以本公司審核認可為準，僅概略敘述如下：

### 一、偵測系統必要性

台澎海底電纜為橫越台灣海峽連續台灣與澎湖島間之重要線路，因此須針對海底段及陸上段電纜之運轉狀態及造成運轉故障之故障資訊應隨時加以正確掌握，方能降低運轉風險。因此，足夠之預防及監視與偵測系統之設置，有其必要性。且目前國際上已有許多類似案例及其監測成果，說明如下：

#### (一) 瀨戶內海-小豆島 66kVAC 海底電纜案例

日本中國電力公司在瀨戶內海敷設一條 66KV 之海底電纜以提供觀光勝地小豆島之電力，其位置如圖 20 所示，由本州之岡山連接至小豆島之土庄，為三條三芯 XLPE 電纜，每條電纜導體面積 500mm<sup>2</sup>，輸電容量 66MW。本電纜在 1992 年完工，敷設最大水深 45 公尺，海纜路徑之地質主要為沙質及部分岩石海床。由於瀨戶內海為日本之內海，區域內有大量之漁船在此作業，因此在該海纜設有包括有兩層之鋼線鎧裝及機械故障偵測用光纖及通訊光纖。此海纜係由日本 Fujikura 設計製作，2 公里長度內不需任何廠接。每條海纜設置 3 單位光纖裝配於三芯纜線之間，其中 SM 單模光纖，直徑 0.9mm，負責損害偵測及通訊功能，在每個單位中四芯光纖呈 90 度排列並位於凹溝外層以利電纜損傷之監測。另採用 OTDR(Optical Time Domain Reflect Meter)系統記錄監測資料，並於上岸後兩端連接 12 條光纖，將資料輸送至位於 Okayama 之工作站，此系統可量測出海纜損害地點，其精確度在 8 公尺之內。

由於本區域之漁民隨潮流之大小及流向以拖網方式捕魚，因此當網目底架或錨鍊鉤住纜線時，纜線會因此受力，導致外傷光纖偵測系統啟動特殊訊號。而漁民離開後則訊號回復正常，此由 1994 年 8 月 24 日清晨監測到有電力損失產生，但 2 小時後又回復正常可資驗證。當時中國電力公司偵測到訊號異常時，亦曾對照當日時間，恰為捕魚時刻，經判斷應為漁船錨害而產生外傷，而外傷地點經計算離 Teshima 島約 440 公尺處。由於電纜於異常後 2 小時恢復正常輸電，初步可判定僅為外傷。因此中國電力公司，在該事件發生後又進行數個月之詳細觀測，當發覺

不再有無其他異狀繼續發生後，更確定僅屬纜線外傷。

藉由光纖之監測方式的確可達到確保電纜正常輸電之功能，而該事件亦讓中國電力公司對於電纜中加設監視用光纖更具信心，且中國電力公司亦經由此次經驗，在後來 1997 年新設的 22KV 大阪線(Osaka line)中，亦採用機械故障監視光纖以加強海底電纜之保安功能。



圖 20 瀨戶內海小豆島 AC66KV 海底電纜

## (二) 阿南紀北 500KVDC 海底電纜案例

詳第肆章「關西電力及阿南~紀北 500KV 直流海纜簡介」，不再贅述。

## 二、光纖系統

### (一)光纖分類

光纖為石英所構成，屬絕緣材料，不會受到電磁感應影響。單模光纖和多模光纖可以從纖芯的尺寸大小來簡單地判別，它是未來光纖通信與光波技術發展的必然趨勢。在光纖通信理論中，光纖有單模、多模之分，區別在於：

- 1.單模光纖芯徑小（約 4~10um），僅允許一個模式傳輸，色散小，工作在長波長（1310nm 和 1550nm），與光器件的耦合相對困難。單模光纖折射率隨著半徑的增加而減少，可獲得比較小的模態色散，因而頻帶較寬，傳輸容量較大，目前一般都應用後者。如圖 20 右圖所示。

2.多模光纖又分爲多模突變型光纖和多模漸變型光纖。前者纖芯直徑較大，傳輸模式較多，因而帶寬較窄，傳輸容量較小，由於多模光纖中不同模式光的傳波速度不同，因此多模光纖的傳輸距離很短。多模光纖芯徑大（62.5mm 或 50mm），允許上百個模式傳輸，色散大，工作在 850nm 或 1310nm。與光器件的耦合相對容易。如圖 21 左圖所示。多模型光纖可容納多條路徑供光束傳輸，但因採折射方式傳輸，長距離傳輸損失會較大，故採取何種型式之光纖需考量地下輸電線長度。

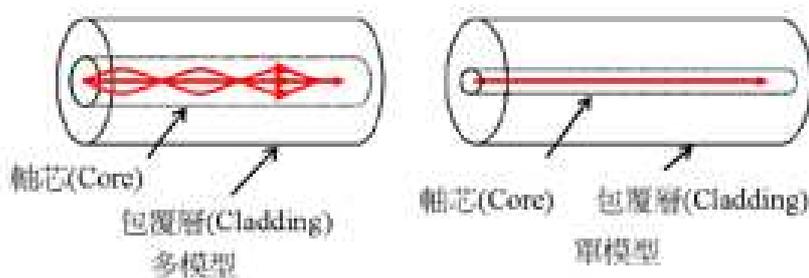


圖 21 多模光纖和單模光纖色散方式

## (二)台澎海纜光纖運用方式

多模型光纖的軸心較單模型大，故可容納多條路徑供光束傳輸，但多模型因採折射方式傳輸，長距離(30km 以上)傳輸損失會較大，故台澎海纜之通訊及偵溫系統原則採單模光纖，事故及外傷系統原則採多模光纖，。地下輸電線用之偵溫光纖基本構造如圖 22 所示。軸芯(Core)位在包覆層(Cladding)的中央，光束只在軸芯傳送，由於輸電線路長度較長，需考量佈設拉力及避免遭外力破壞，故在包覆層(Cladding)外會增設一層鎧裝層(Armour)，一般以不鏽鋼管設計居多，而外皮(Coating)用 PVC 或 PE 來保護玻璃光纖。

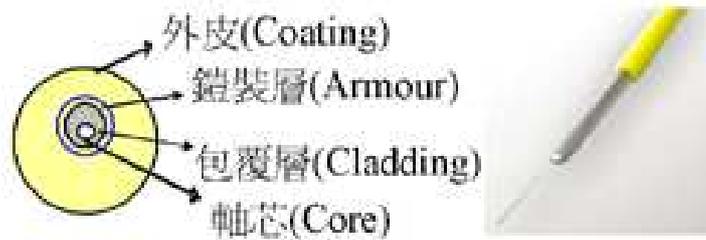


圖 22 光纖構造圖

光源注入光纖後，經過一段距離光源會被以漫射方式反射回來，如光纖遭遇斷裂或破損時，其漫射光之型態將與正常漫射有所不同。因此，利用比較入射光源與其散漫反射光之差異性，即可經由光電轉換器及用電腦將周遭之溫度或特異情形分析計算出來，以測量出該區域的溫度值及距離位置，如圖 23 所示。

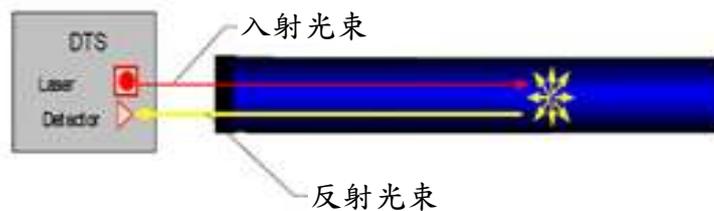


圖 23 光纖折射原理

### 三、電纜規格

(一)使用海底電纜之構造：

為配合每回線最大送電容量 200 MVA，其導體截面積選為  $630 \text{ mm}^2$ 。另為運轉偵測監控保護，須加裝多條光纖電纜，其配置及海纜之構造如下圖 24 所示(實際構造須經本公司審核同意為準)。

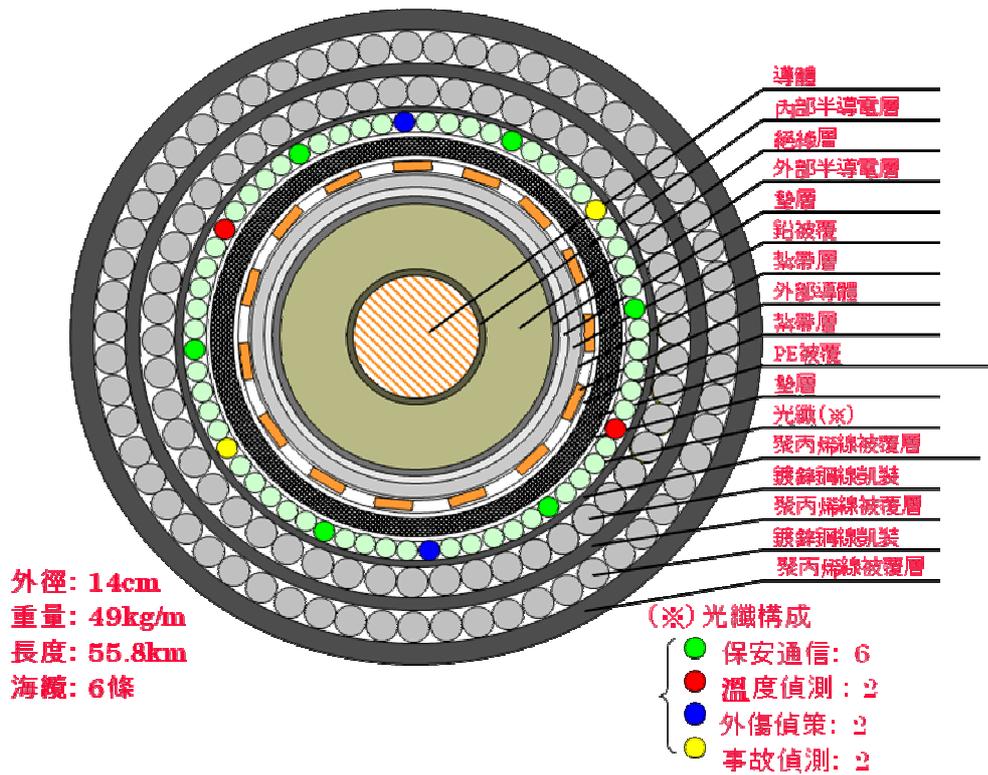


圖 24 161kV 交連鎧裝海底電纜構造圖

(二)使用陸纜之構造：

本公司地下輸電線用 161kv 交連 PE 電纜規格如圖 25 所示，使用之規格為 2000mm<sup>2</sup>，可配合輸送每回線最大送電容量 200 MVA 之需求。

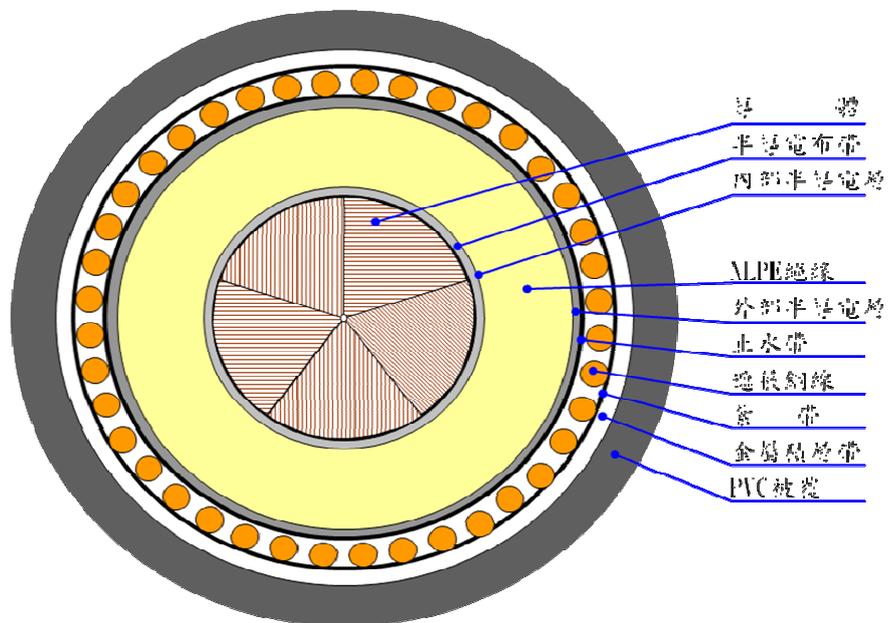


圖 25 161kV 交連 PE 電纜構造圖

#### 四、海纜製造及檢驗程序

##### 1. 定型試驗及 365 天長期老化試驗(Type test 及 Prequalification test)：

JPS 公司應依據 IEC60840 規定辦理海纜系統之定型及老化試驗，其中雷擊波耐壓為 750kV，對地電壓 93kV ( $U_0$ )。其試驗標準為至少含海纜工廠接續匣、海陸纜異徑接續匣、海纜維修用接續匣、161kV 2000mm<sup>2</sup> 地下電纜、161kV 630mm<sup>2</sup> 海底電纜等所組成之試驗線路分別實施定型及 365 天長期老化試驗，測試方式如圖 26 所示，概述如下：

##### (1) 定型試驗之循環老化加壓試驗

藉由海纜內部電流進行加熱以達到海底電纜導體穩態溫度 95 °C~100 °C。加熱試驗至少 8 小時，並維持此溫度至少 2 小時，然後再經 16 小時之自然冷卻，使導體溫度介於 15°C 至最高溫度 45°C，加熱與持續之 2 小時過程的海纜電流須予以記錄。循環老化加壓試驗，應執行 20 次加熱及冷卻週期試驗。

##### (2) 365 天長期老化試驗之循環老化加壓試驗

藉由海纜內部電流進行加熱以達到海底電纜導體穩態溫度 95 °C~100 °C。在測試進行時應考慮周遭環境影響變數，適時調整導體電流。熱試驗時間至少 8 小時，且導體溫度必須維持在耐溫極限 2 小時，然後再進行 16 小時之自然冷卻熱。本試驗須以 161kV(1.7 $U_0$ )電壓，進行至少 180 個冷卻與加熱週期加壓試驗，整個試驗時間須達 8760 小時。

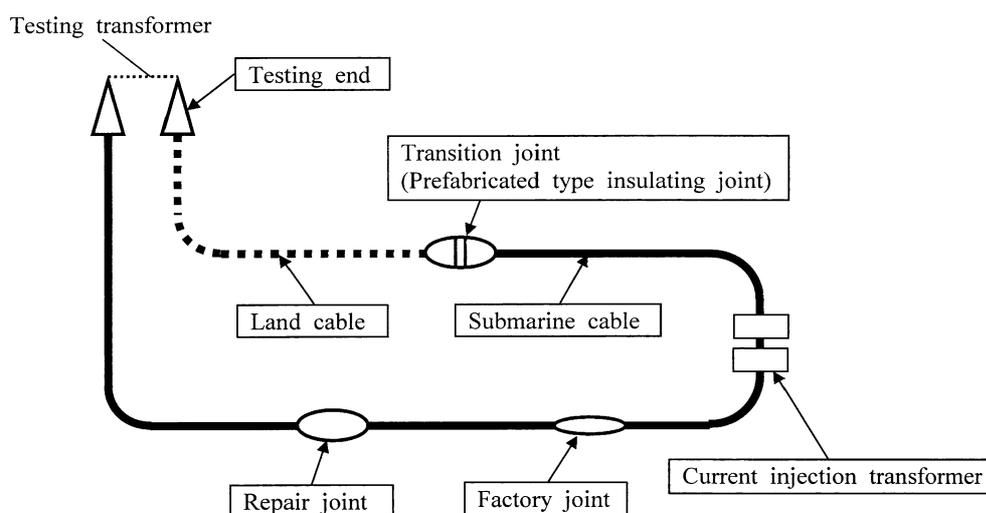


圖 26 Type test 及 PQ test 循環老化加壓試驗線路

### (3) 海纜製造程序

JPS 將海纜製造程序分為兩個階段，第一階段由位於東京 Hitaka 電纜廠負責導體及絕緣層的製造，並實施 AC 233kV 電壓持續 30 分鐘之測試及 140kV 測試部分放電於 5pc 以下，經測試合格後運送至東京 Minato 海纜廠負責海纜接續前之 PE 被覆 AC 15kV 耐壓測試，測試合格後於工廠內實施海纜接續(詳圖 27 所示)，接續完成後實施 DC 被覆 25kV/1 分鐘耐壓測試以確認接續是否正常，完成全部海纜製造程序後需分別實施 AC 150kV 電壓持續 15 分鐘及 DC 被覆 25kV/1 分鐘耐壓測試，測試過程如表 1 所示。

表 1 海纜製造及測試過程

Manufacturing Works	Cable Component	FAT
 <p><b>Hitaka Works</b></p>  <p><b>Minato Works</b></p> 	 <p><b>Cable Core</b> Conductor / XLPE Insulation / Lead Alloy Sheath</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* AC 233kV/30 min.</li> <li>* PD Max. 5pC at 140kV</li> </ul>
	 <p><b>PE Sheath &amp; Armouring</b> Return Conductor / PE Sheath / FO Unit / Steel Armour</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Before FJ assembling</li> <li>* AC 15kV on PE Sheath (Spark Test)</li> <li>■ After FJ assembling</li> <li>* DC 25kV/1min. on PE Sheath</li> <li>■ On Completed Cable</li> <li>* AC 150kV/60 min.</li> <li>* DC 25kV/1 min. on PE Sheath</li> <li>* Attenuation Test</li> </ul>

### (4) 海纜接續

海纜接續前每軸海纜約 2000 公尺，於工廠內利用自動化鋼模壓接導體，導體壓接後纏繞內半導層、XLPE 絕緣帶、外半導層接續、鉛被、銅線及 PE 被覆等，海纜接續程序如圖 26 所示。

### 2. 現場竣工試驗

海纜及其附屬器材安裝完成後，須進行以下之試驗，以驗證其完整性。JPS 必須負責完成試驗儀器之供應、運輸及相關現場準備工作，並完成下列現場試驗：

(1) 導體電阻之量測、絕緣層量測、電容量量測、零序阻抗量測、正序阻抗量測、

零序互感阻抗量測、對相試驗、被覆直流耐壓試驗、OTDR 量測等。

(2)交流電壓試驗：以 150kV 20~300Hz AC 共振耐壓設備施加 1 小時之水中交流耐電壓試驗。

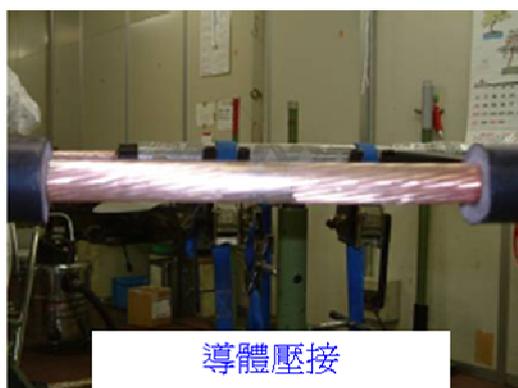
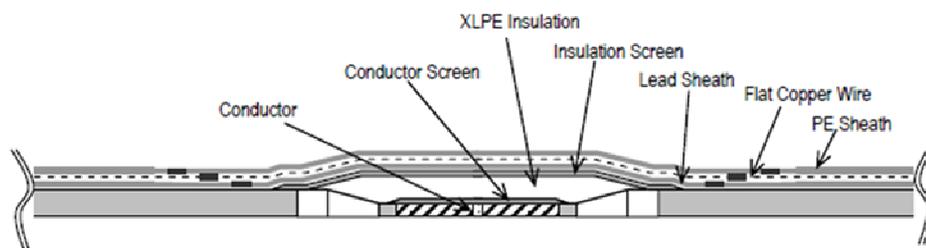


圖 27 海纜接續程序

## 五、電纜事故預防及偵側系統

海底電纜事故之預防在國內可朝二個方向進行，其一為向內政部申請，納入海圖中，警告船隻不得在此區域拋錨，其二為利用海底電纜本身之光纖監測系統，隨時偵測輸電運轉情形，以降低故障風險。

### (一)航船佈告

預防系統之首要工作為於海纜完工後，同樣依「在中華民國大陸礁層鋪設維護變更海底電纜或管道之路線劃定許可辦法」向內政部報備，並提供相關纜線路徑座標，交由行政院海岸巡防署巡防總局，繪製於海圖上，並發佈航船佈告，通知所有經過船隻，禁止在纜線路徑沿線拋錨，防止海纜因拋錨而遭勾壞。

### (二)預防及偵測系統

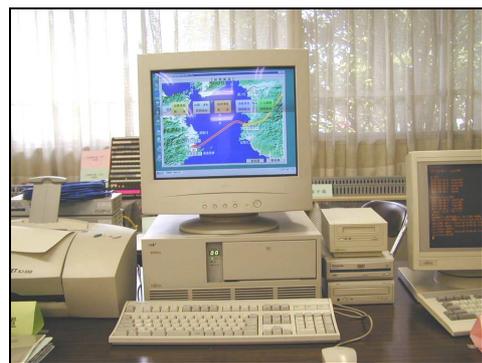
本預防維護支援系統之各個裝置及配置如表 2 所示。台灣端及澎湖端將藉由 LAN (Local Area Network) 連結，所以所有情報將傳輸至變電所及 ADCC。支援系統裝置如圖 28 所示。維護支援系統如圖 29 所示。

表 2 預防維護支援系統概要

項 目	目 的	機 能 概 要
電 纜 監 視	溫度監視裝置	確實掌握電纜溫度 以海底複合光纖電纜進行海底電纜全長之溫度監視管控。參照圖 30 及圖 34。
	埋設位置檢測裝置	懸錨等事故之預防預知(電纜埋設深檢測) 利用海上 ROV 進行海底電纜之埋設深度測定。
	外傷檢測裝置	懸錨等外傷之檢測 利用海底複合光纖電纜事前檢測錨等可能之外力事故，以防患於未然。詳圖 35。
	事故點評定裝置	事故點早期發現 萬一事故發生時利用光 CT 以提早評定事故發生點。詳圖 36。
設備 保安	ITV 裝置 不法侵入狀況 火災發生狀況 (上岸地點)	台灣島及澎湖島各設置攝影電視系統，以掌握火災、第三者入侵時之情報，俾採取初期緊急應變對策。
情 報 傳 送	光多重傳送裝置	使用海底複合光纖電纜，將台灣~澎湖連接成一工作網路，進行資訊之相互傳送。
	中央處理裝置	將各裝置送回之維護資料予以蒐集與儲存，包括故障資訊、運轉情報等)。
	顯示裝置	將中央處理器蒐集之維修資料以畫面表示或列印輸出。



(a)控制裝置



(b)顯示裝置

圖 28 支援系統裝置

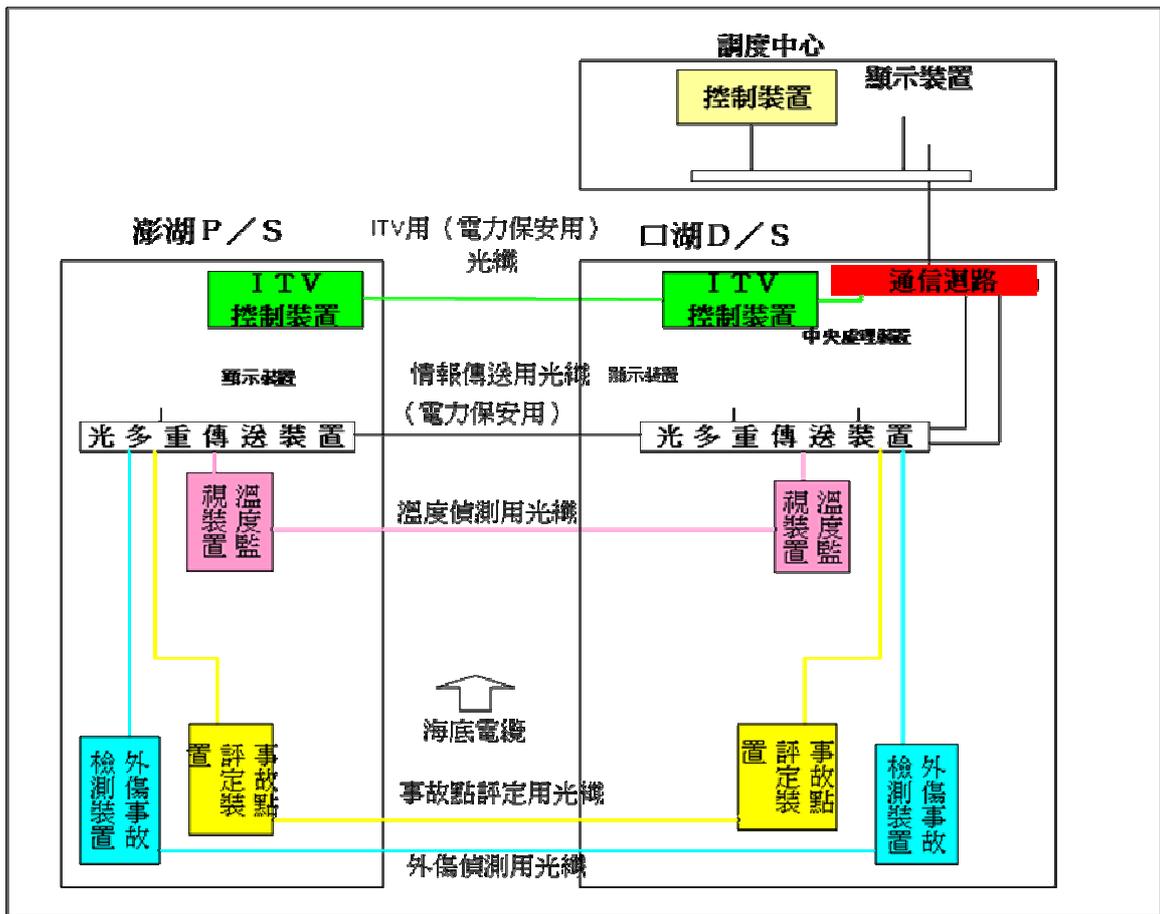


圖 29 維護支援系統示意圖

### (三)電纜溫度監視

利用複合光纖電纜溫度偵測器測定海底電纜全長度之溫度分佈情形，其測定精度為 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，5m 範圍內局部之溫度上昇可檢測得知。

測定示意如圖 30 所示。大部份之數據皆在規定值以下。部分區段溫度較高之處所，乃海底電纜埋設處土壤熱抵抗之差異所致，持續性加以監視以維系統之運轉安全。

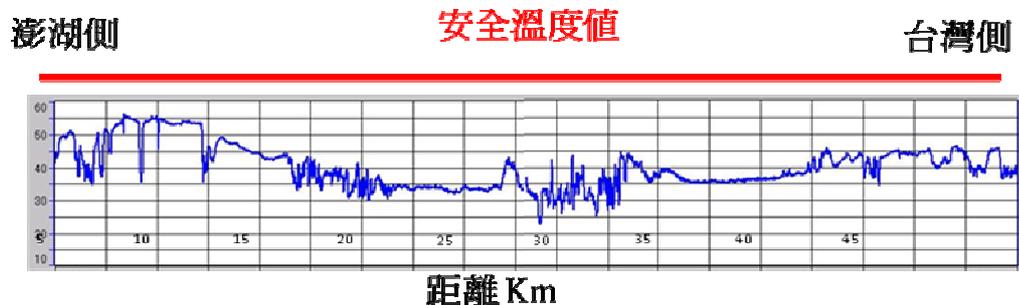


圖 30 海底電纜溫度測定示意圖

#### (四)外傷偵測及定位系統

藉由光纖掃瞄及搜集訊息後經光纖傳送至終端設備及 ODTR 裝置，並依據脈衝訊號傳送至終端之反應時間計算出外傷位置，本系統之示意如圖 35 所示。

#### (五)事故點定位及事故復舊

利用兩端海纜終端偵測器感應海纜運轉狀況，再藉由光纖掃瞄及搜集訊息後經相關設備及時間計數器轉換脈衝訊號，再以脈衝訊號反應至終端之時間計算出事故點位置，本系統之示意如圖 36。經由維護支援系統判定事故發生時，為避免電力供給發生障礙，有必要採取迅捷快速之復舊方式以維電力供應之正常，將故障點傳送至兩端之監測站，然後經過研判，找出故障點再迅速派員前往維修。故障點位置確認後，由專業潛水俠潛入海底架設切割機(Underwater cutter)將損壞之海纜分兩處鋸斷，如圖 31 所示。

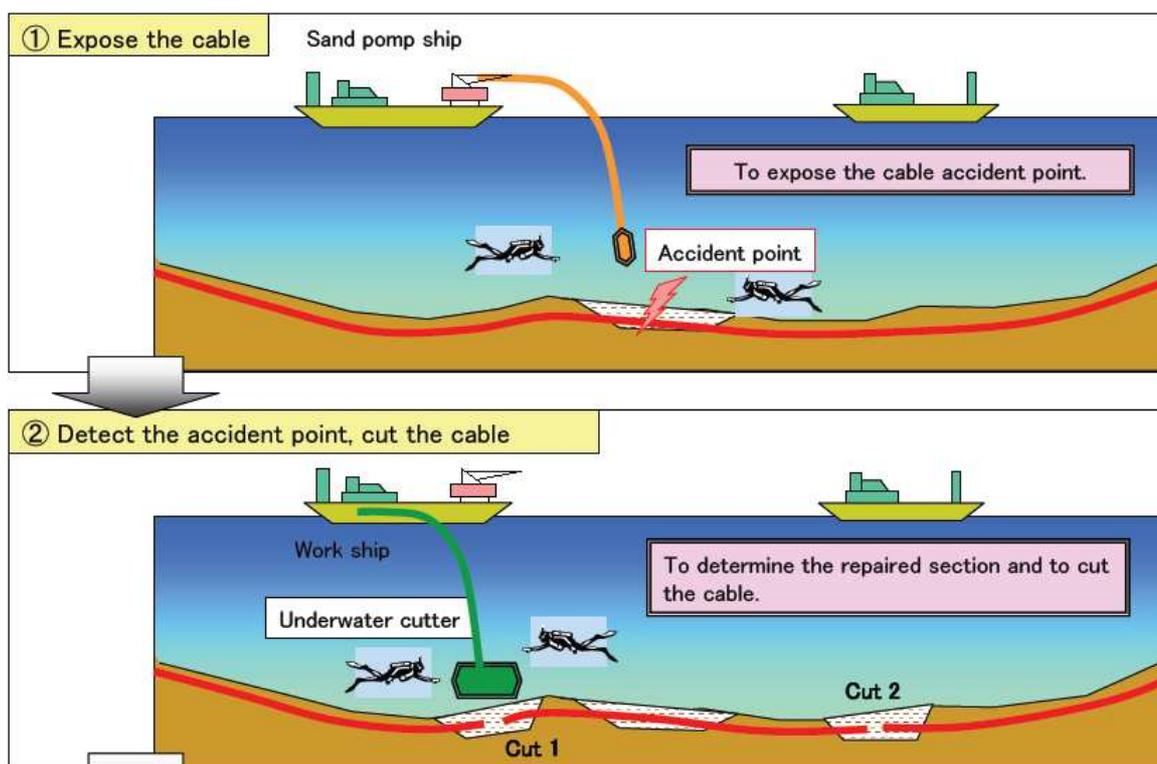


圖 31 定位損壞之海纜段及鋸斷

將鋸段後未損壞之海纜一端經由工作船上之起重機吊至維修船，工作人員先檢視海水入侵海纜之狀況及做部分長度切段，再與維修用之海纜作接續處理，如圖 32 所示。

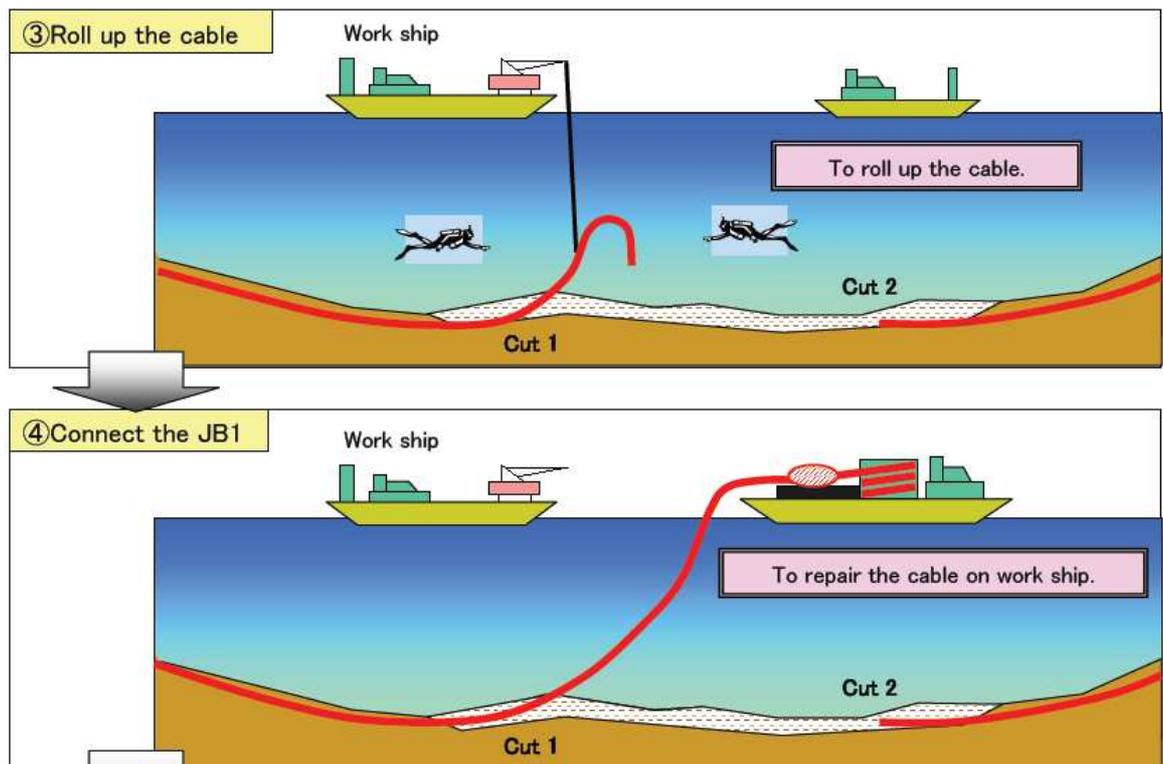


圖 32 損壞海纜之接續維修

另一段未損壞之海纜亦吊至維修船處理後再與維修用之海纜作接續處理，如圖 33 所示。

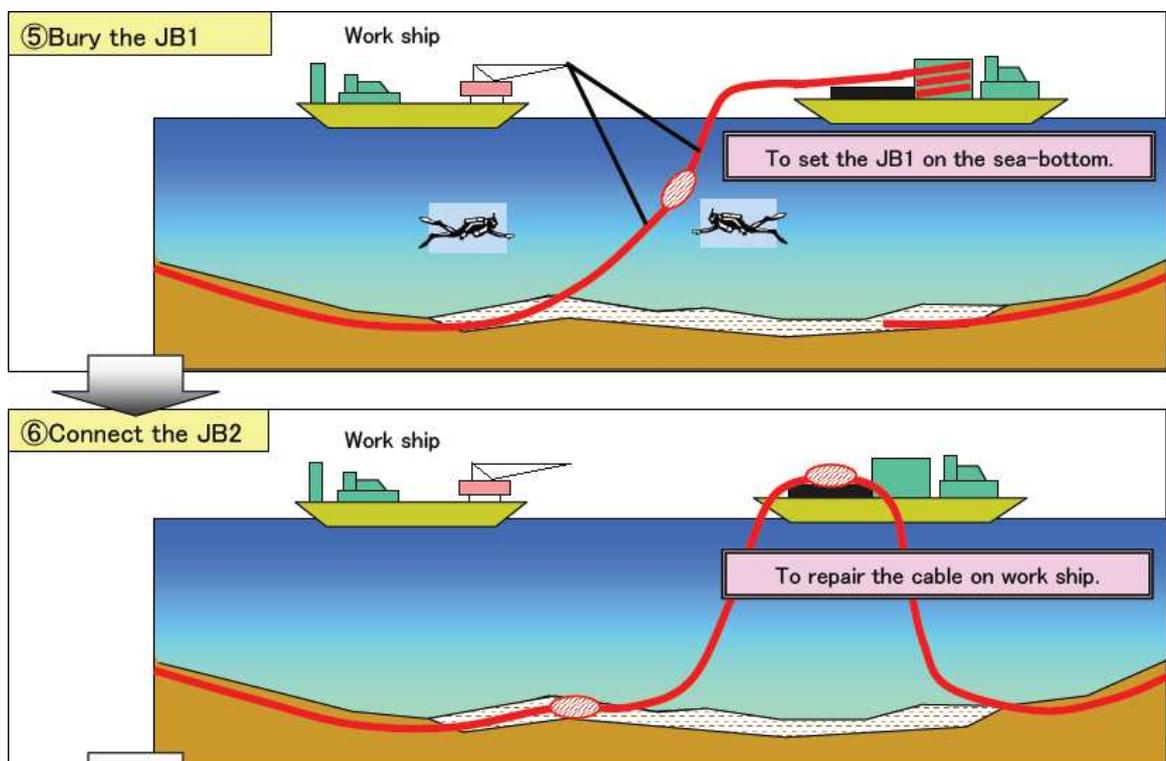


圖 33 損壞海纜完成接續維修

#### (六)整體監控系統配置

光纜偵測系統含概光纖、監測設備及其相關附屬設施，6 條海纜內之 12 芯光纖於上岸人孔內經光纖接續後轉為 2 條 48 芯光纜，再經由 161kV 陸纜管路引接至澎湖、口湖變電所內監控室之監測設備，海纜光纖與陸域光纜銜接示意圖架構示意圖如圖 37 所示。

【系統主要裝置】

- 光纖感應器
- 測量設備
- 個人電腦(計算及顯示溫度之分佈)

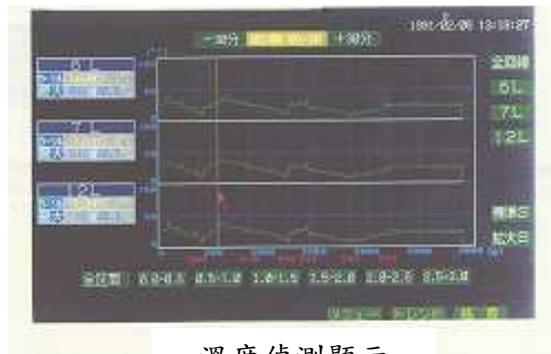
【原理】

1. 光纖內鐳射光脈波入射產生散亂光脈波
2. 搜查散亂光脈波產生位置
3. 由散亂光強度得知該點溫度

(光纖維溫度分佈感應系統)



光纖感應設備



溫度偵測顯示

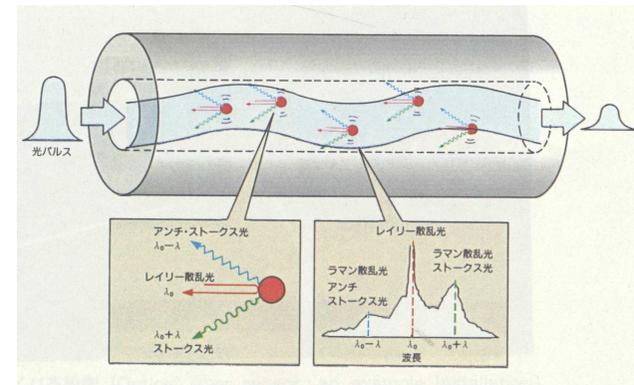
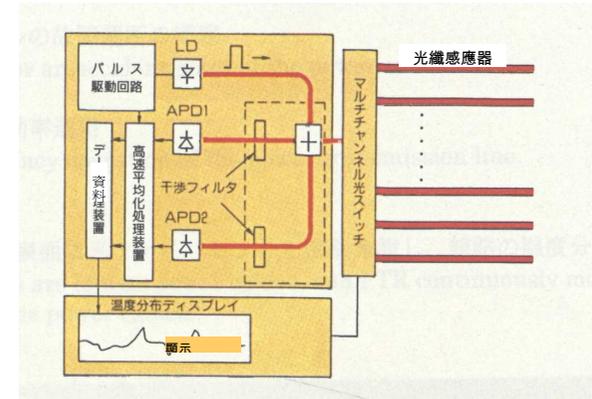


圖 34 溫度監視系統

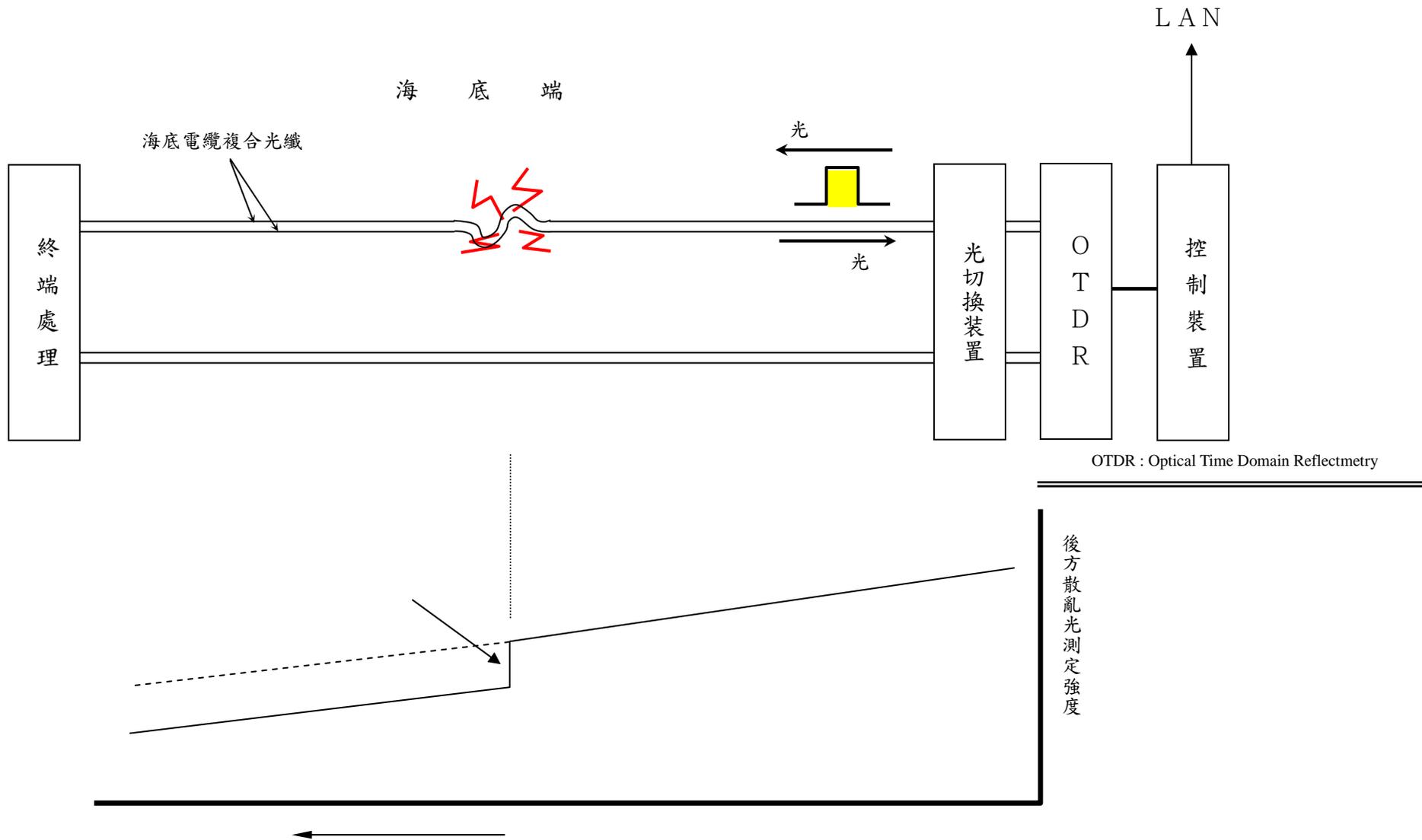


圖 35 外傷事故檢測裝置之構造及檢測原理

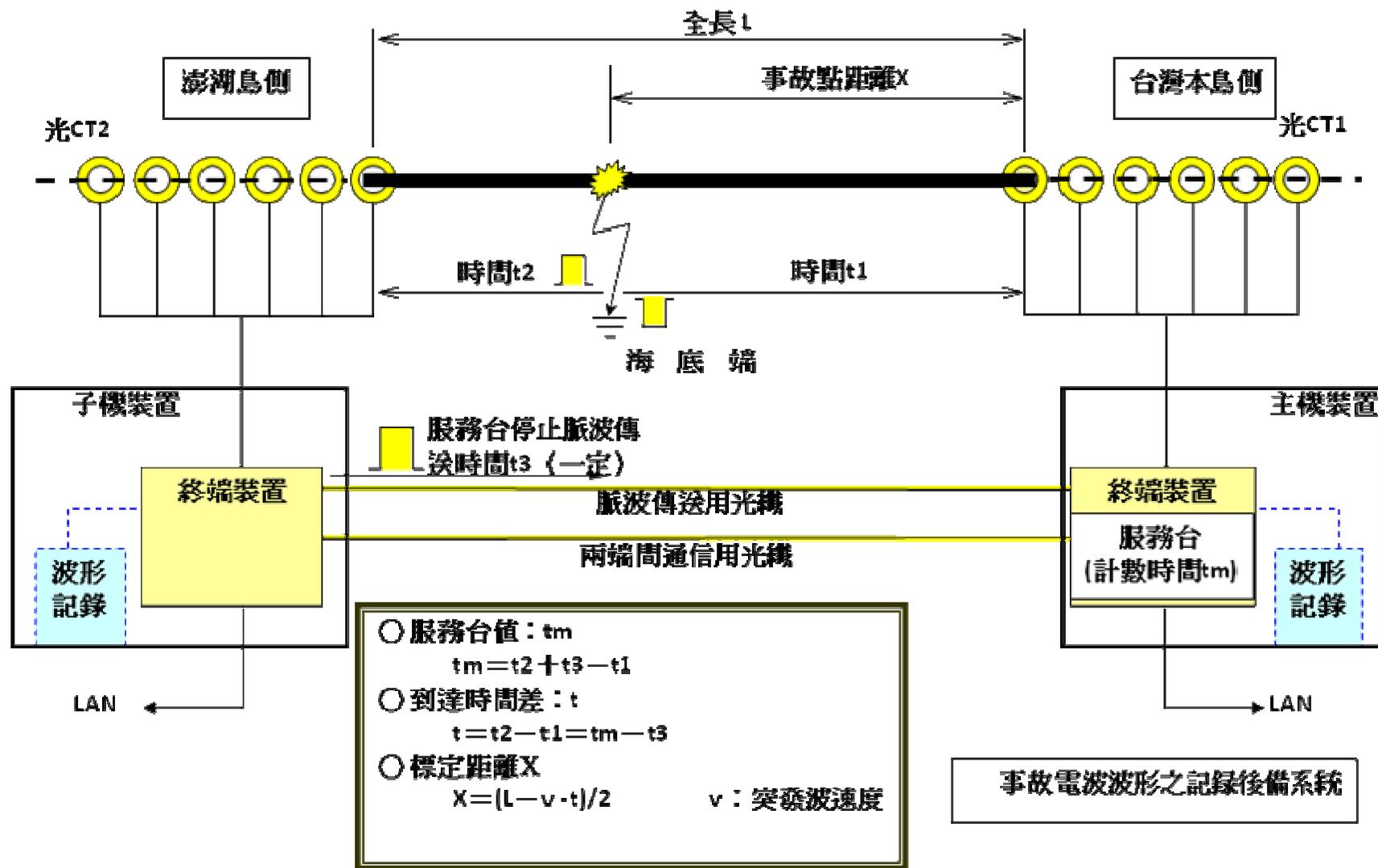


圖 36 事故點評定裝置構成圖及標定原理

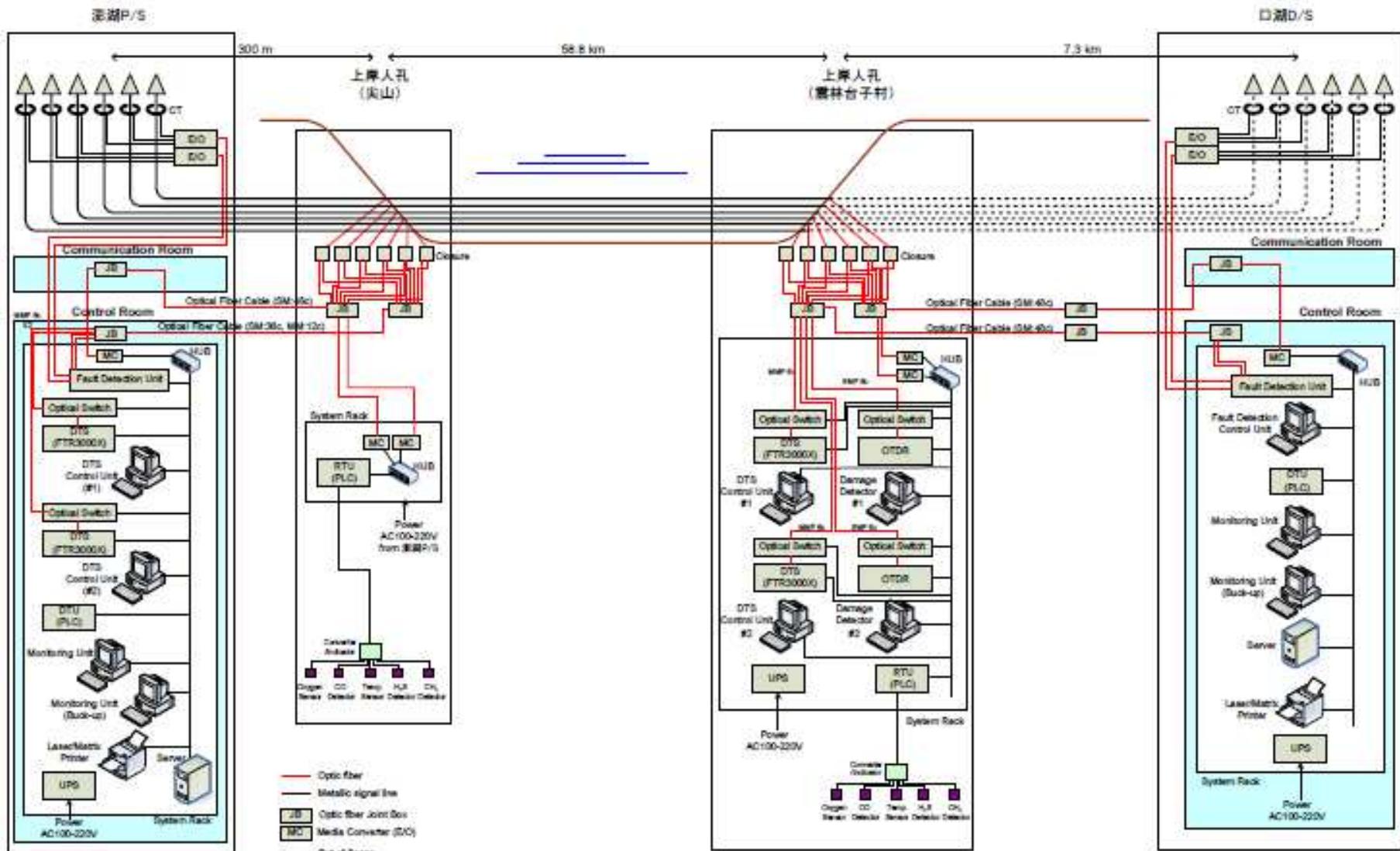


圖 37 台澎海路纜整體監控系統

## 陸、實習心得

- 一、近幾年來國內外已完成多條超高壓級(275kV~500kV)電纜線路，電力公司已要求實施現場部分放電試驗，其主要理由為確認電纜接續及終端匣之施工品質。一般電纜線路之弱點在於接續匣，故接續匣故障的機會較大，線路竣工後實施部份放電之試驗，目前國際尚無標準，其效果雖有待商榷，但其原理確有研究價值。本公司 345kV 交 PE 輸電電纜 PD 測試時於竣工後均實施線上 PD 測試，與關西電力應於 275kV 交 PE 輸電電纜 PD 測試方法相同。
- 二、關西電力公司之特高壓以上線路系統分為 77kV、154 及 275kV 等級，海纜為 500kV，部分放電試驗僅於 275kV 交連 PE 電纜線路竣工時實施，以後運轉半年、1 年、2 年及 6 年後於送電中實施部分放電試驗。與本公司 345kV 交連 PE 電纜竣工後實施部分放電試驗時機類似，目前台電 345kV 地下輸電線規定 PD 實施時機為(1)竣工時、(2)竣工後 6 個月、(3)竣工後每 1 年定期檢查一次，於 5 年保固期共須實施 7 次部分放電試驗以提升電纜系統的可靠度。
- 三、345kV 輸電線為本公司重要輸電骨幹，為確保供電可靠度，若裝設集中式 PD 測試設備，運轉中得予連續測試電纜與接續匣之絕緣性能，初期測試週期可較長，例如每 1 小時測試一次，若某一處放電量有增加趨勢，則可縮短其測試週期，待發現放電量已達危險值，即可立即調度停電檢查，以增加供電可靠度。惟集中式 PD 作業因擷取的訊號資料是連續性，故相對終端儲存設備容量需加以考量，且累積的訊號資料如何精確判讀是現在最大的課題。以電力系統模式與台電相近之日本為例，一般輸電線並未執行長期 PD 線上監測，僅於新開發之電纜規格或較重要之輸電線路才會以攜帶式 PD 作業方式進行測試。
- 四、阿南~紀北 500kV 海底電纜雖然長度只有 48.9 公里，以建設成本而言以設立 AC 海纜較符合經濟價值，但因銜接四國電力 50HZ 及關西電力 60HZ 系統線，為解決系統界面及降低線路送電損失(送電容量 2800MW)，故採 DC 雙極直流海纜。反觀台澎海底電纜長度 58.8 公里及送電容量 200MW，依「國際海底電纜輸電容量與線路長度關係圖(詳圖 38)」分析結果，採 AC 海纜較符合經濟價值。
- 五、阿南~紀北為確保電力保安及通訊之功能，每條海纜設置 12 芯光纖以執行溫度監測、故障監視、維修通訊及資訊傳遞等功能，台澎海底電纜為橫越台灣海峽連續台灣與澎湖島間之重要線路，因此須針對海底段及陸上段電纜之運轉狀態及造成運轉故障之故障資訊隨時加

以正確掌握，方能降低運轉風險。因此，海纜之運轉溫度、事故、外傷及保安通信等之預防、監視與偵測系統之設置，有其必要性，目前本公司台澎海纜統包工程已由日本 JPS 公司得標，JPS 已依此原則規劃中。

六、為確保台澎海纜線路供電品質，本公司已要求加入系統前實施 AC 耐壓試驗，即以 150kV 20~300Hz AC 共振耐壓設備施加 1 小時之水中交流耐電壓試驗，阿南~紀北海纜僅實施 DC 被覆耐壓試驗，並無實施 AC 耐壓試驗，故本公司對台澎海纜線路之測試品質要求高於關西電力之阿南~紀北海纜線路。

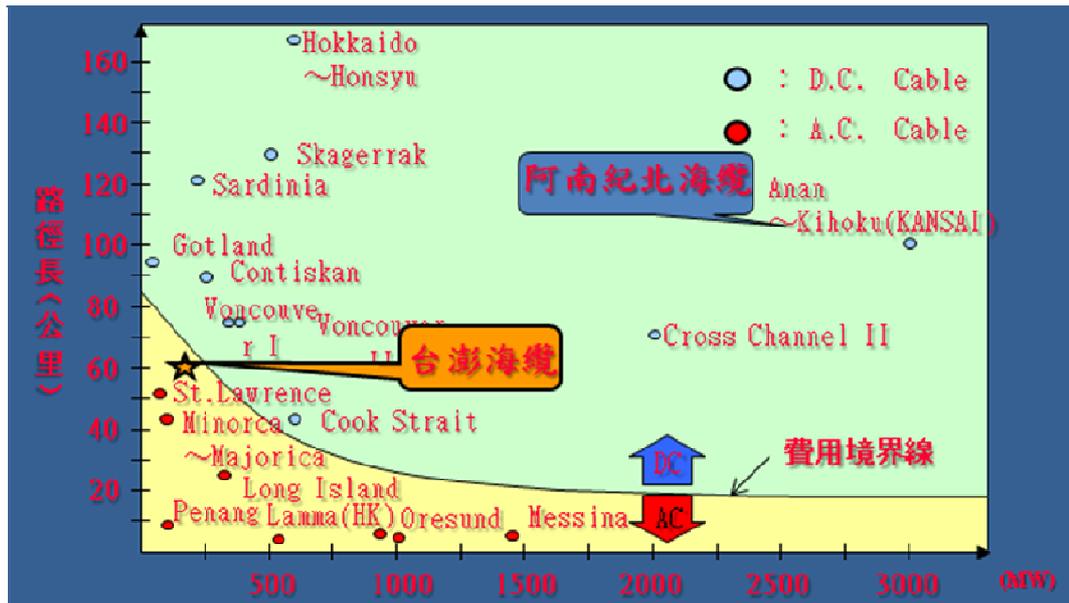


圖 38 國際海底電纜輸電容量與線路長度關係圖

## 柒、建議事項

- 一、利用 HFCT、C Sensor 及 UHF 等測試設施、可在活線或線上長期監視時，監測 GIS 設備及氣封型電纜終端匣內部即時部分放電變化資訊，可透過電話網路或相關媒介，將資料傳回監控識，供專業人員解讀。然因受環境干擾因素及人員素質影響，較難客觀判定是否發生部分放電，且所需人力、設備及成本較高，目前關西電力及 JPS 公司除變電重要設備或研究外，並無具體應用於線上長期監測之發展。故有關「PD 線上長期監測系統之技術」，目前國際上測試技術尚未成熟，建議不予採用。
- 二、長距離海底電纜因接續匣皆於工廠內產製及測試完成，不像長距離地下電纜接續需於工地現場施作，因受人為影響而需實施 PD 測試，故海纜竣工後無須實施 PD 測試，且國際上之海纜線路於竣工時皆無實施 PD 測試，建議仍維持本公司原有之規劃方式於竣工時不施作 PD 測試。

## 捌、參考文獻

1. Chen Min, Koji Urano, Tang Jian, Qui Zhongwei1, Atsuhide Jinno “Application of Online PD Monitoring System Using HF/UHF PD Sensors for GIS and Cable” SE Technology Limited, Hong Kong, J-Power Systems Corp. Japan , Conference Proceedings of CMD2010
2. Osamu Matsunaga, J-Power Systems Corp. “Brief Procedure of Factory Joints for 161kV Submarine Cables” TECHNICAL DATA, July 24, 2011
3. Osamu Matsunaga, J-Power Systems Corp. ” Type Test & Pre-Qualification Test Plans for 161kV XLPE Insulated Submarine Cables and Accessories” TECHNICAL DATA, Dec. 10, 2011
4. J-Power Systems Corp.” Typical Repairing Procedures for Damaged Submarine Cable” TECHNICAL DATA, Apr. 9, 2002
5. The Kansai Electric Power Co., Inc “Outline of Anan-Kihoku HVDC Line” Underground Transmission Line Group , Power System Engineering Center
6. Toshio Nishimoto, “Chugoku Goes Fishing for Submarine Cable Solution” , The Chugoku Electric Power Co., Ltd ,1997
7. 渡邊稔,「紀伊水道直流連係設備」 I E E J (社)電氣学会,日油技研工業(株)
8. 郭政謙 “GIS局部放電之研究” 聖約翰科技大學產學合作計畫補助案, 2008.2.01~2009.1.31
9. 羅志強「電纜部份放電(PD)量測」台電綜合研究所,中華民國97年9月。
10. 台灣世曦工程顧問公司「海底電纜光纖規劃」台灣-澎湖161KV電纜線路規劃設計
11. 台灣世曦工程顧問公司「輸變電系統智慧化監控」中華民國96年4月。
12. 台灣電力公司輸變電工程處 「台灣-澎湖161KV海底電纜線路設計、製造及安裝統包採購規範 Vol I」中華民國100年1月。
13. 黃國維「小波理論應用於模鑄型變壓器部份放電音頻信號分析」國立成功大學碩士論文,中華民國93年6月。
14. 鄭美滿「實驗性比壓器部份放電圖譜之辨識」國立台灣科技大學碩士論文,中華民國94年6月。
15. 趙志強 「南科345KV地下電纜線路之規劃設計及實務介紹」台電輸變電工程處,中華民國95年8月。